



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH**

**Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa**

Título del TFM

Proyecto de desarrollo de un programa de control para una
cámara climática mediante LabVIEW

Alumno

Óscar Bataller Sendra

Tutor del TFM

Raúl Fernández García

Titulación

Máster Universitario en Ingeniería Industrial

Convocatoria de Entrega del TFM

20 de septiembre de 2018

Sumario

1. Introducción	1
1.1. Resumen del proyecto	1
1.2. Objeto del proyecto	1
1.3. Alcance del proyecto	1
1.4. Requisitos del proyecto.....	2
1.5. Justificación del proyecto.....	3
2. Desarrollo	4
2.1. Antecedentes y estado del arte	4
2.2. Planteamiento y decisión sobre las soluciones alternativas.....	4
2.3. Materiales	5
2.3.1. Cámara Climática CCK-25/48, Eurotherm 2604 y cableado.....	5
2.3.2. Medidor LCR y cableado.....	9
2.3.3. LabVIEW	11
2.4. Desarrollo de la solución elegida	13
2.4.1. Comunicación serie	13
2.4.2. Funcionamiento de la aplicación.....	17
2.4.3. Programación	23
3. Resumen de los resultados	42
3.1. Presupuesto y estudio de viabilidad económica.....	44
3.2. Valoración de las implicaciones ambientales.....	45
3.3. Valoración de las implicaciones de seguridad.....	46
3.3. Conclusiones.....	46
3.4. Planificación y recomendaciones de futuros trabajos	47
3.5. Relación de referencias bibliográficas.....	48

Lista de figuras

Ilustración 1: Cámara Climática CCK-25/48.....	5
Ilustración 2: Agujero en la cámara climática	6
Ilustración 3: Regulador Eurotherm 2604	7
Ilustración 4: Terminal de comunicación de la cámara climática	8
Ilustración 5: Medidor LCR Hameg 8118.....	9
Ilustración 6: Terminal de comunicaciones del medidor LCR	10
Ilustración 7: LabVIEW - Logo.....	11
Ilustración 8: Ejemplo de un Virtual Instrument.....	11
Ilustración 9: LabVIEW Structures - Case Structure	12
Ilustración 10: LabVIEW Structures - While Loop	12
Ilustración 11: LabVIEW Structures - Flat Sequence	12
Ilustración 12: LabVIEW Structures - For Loop.....	13
Ilustración 13: VI de inicio y configuración de la comunicación serie.....	14
Ilustración 14: VI de cierre de la comunicación serie	14
Ilustración 15: VI de configuración del setpoint de temperatura.....	15
Ilustración 16: iTools Engineering Studio – Logo	15
Ilustración 17: iTools Engineering Studio – Acceso a registros	16
Ilustración 18: VI de configuración del circuito y parámetros	16
Ilustración 19: Monitorización del puerto COM al medidor LCR	17
Ilustración 20: Interfaz gráfica - Pestaña Comunicación.....	17
Ilustración 21: Administrador de dispositivos.....	18
Ilustración 22: Interfaz gráfica - Pestaña Parámetros	19
Ilustración 23: Excel CSV resultante	21
Ilustración 24: Interfaz gráfica - Pestaña Medición.....	22
Ilustración 25: Excel de puntos de gráfica.....	23
Ilustración 26: Primera secuencia del Flat Sequence.....	24
Ilustración 27: Segunda secuencia del Flat Sequence - True	25
Ilustración 28: Segunda secuencia del Flat Sequence - False	26
Ilustración 29: Tercera secuencia del Flat Sequence	28
Ilustración 30: Variaciones del caso de la Tercera secuencia del Flat Sequence	29
Ilustración 31: VI auxiliar - Write Temperature	30
Ilustración 32: VI auxiliar - Write Humidity	30
Ilustración 33: VI auxiliar - Read Temperature	30
Ilustración 34: VI auxiliar - Read Humidity	30
Ilustración 35: VI auxiliar - Check Temperature and Humidity	31
Ilustración 36: Case structure que fija el parámetro prioritario	32
Ilustración 37: Case structure que establece el valor fijado del parámetro no prioritario.....	32
Ilustración 38: Case structures para realizar el escalado del parámetro prioritario	33
Ilustración 39: Case Structure para finalizar el bucle de valores del parámetro prioritario.....	33
Ilustración 40: Case structure que fija el parámetro no prioritario - True.....	34
Ilustración 41: Case structure que fija el parámetro no prioritario – False	34
Ilustración 42: Case Structure para finalizar el bucle de valores del parámetro no prioritario..	35
Ilustración 43: Tercer While de la Cuarta secuencia del Flat Sequence	35
Ilustración 44: Case Structure para cambiar de pestaña gráfica	36

Ilustración 45: Obtención del tiempo en régimen permanente	37
Ilustración 46: Se fija la variable de frecuencia.....	37
Ilustración 47: Configuración del Hameg 8118 y su señal	38
Ilustración 48: Verificación de medidas dentro de rango	39
Ilustración 49: Almacena las mediciones en el excel CSV	40
Ilustración 50: Quinta secuencia del Flat Sequence.....	41
Ilustración 51: Ejemplo de resultados.....	43
Ilustración 52: Excel CSV de resumen de resultados	44

Lista de tablas

Tabla 1: Características de la cámara climática CCK-25/48	6
Tabla 2: Características del regulador Eurotherm 2604	8
Tabla 3: Características del medidor LCR Hameg 8118.....	10
Tabla 4: Valores seleccionables de los parámetros que configuran la comunicación	18
Tabla 5: Ejemplo de rango de valores climáticos	29
Tabla 6: Ejemplo de orden de valores climáticos fijados	29
Tabla 7: Dirección de registros de Temperatura y Humedad	31
Tabla 8: Costes de amortización	44
Tabla 9: Costes de consumo energético	45

Glosario

CSV	<i>Comma Separated Values</i>
ESEIAAT Terrassa	Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa
GPIB	<i>General-Purpose Instrumentation Bus</i>
HMI	<i>Human–Machine Interface</i>
LabVIEW	<i>Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench</i> , de <i>National Instruments</i>
MatLAB	<i>Matrix Laboratory</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NI	<i>National Instruments</i>
PID	Proporcional-Integral-Derivativo
RFEMC	Radiofrecuencia y Compatibilidad Electromagnética en Redes de Comunicación
RS-232	<i>Recommended Standard 232</i>
TFM	Trabajo de Final de Máster
UART	Universal Asynchronous Receiver
USB	Universal Serial Bus
UPC	Universitat Politècnica de Catalunya
VI	<i>Virtual Instrument</i>

1. Introducción

1.1. Resumen del proyecto

El presente Trabajo de Final de Máster, TFM, presenta y describe el desarrollo y programación de una interfaz gráfica que automatiza numerosos procesos de medición de impedancias eléctricas de uno o varios sensores textiles. Cada medición será sometida a distintas temperatura y humedades ambientales dentro de una cámara climática y registradas en un archivo externo a la interfaz.

Este TFM se realiza en el contexto del proyecto, TEC2016-79465-R, INTEGRACION ELECTRONICA EN SUSTRATOS TEXTILES PARA EL DESARROLLO DE TEJIDOS INTELIGENTES llevado a cabo por el Grupo de Radiofrecuencia y Compatibilidad Electromagnética en Redes de Comunicación, RFEMC, que se encargará de valorar los resultados de las mediciones y rediseñar los sensores textiles.

1.2. Objeto del proyecto

El objetivo de este trabajo final de máster consiste en implementar una aplicación de control que establezca y monitorice los valores de temperatura y humedad de una cámara climática de forma automática. En su interior, se deposita un circuito eléctrico que ve modificada su impedancia eléctrica debido a las variaciones climáticas a las que se somete.

Además, la aplicación desarrollada a de controlar un medidor LCR para que realice las mediciones, a distintas frecuencias, del circuito eléctrico. A su vez, se han de registrar todas las mediciones en un archivo excel de formato *Comma Separated Values*, CSV.

Para lograr todo esto, se requiere habilitar una comunicación entre los dispositivos de forma que la aplicación mantenga un flujo de datos constante entre ellos. La aplicación se diseña mediante el software *Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*, de *National Instruments*, comúnmente llamado, LabVIEW.

1.3. Alcance del proyecto

La aplicación de este proyecto a de asegurar las siguientes funcionalidades:

- Crear una interfaz gráfica, o *Human-Machine Interface* (HMI), visual, ergonómica e intuitiva para el usuario.

- Habilitar y deshabilitar las dos comunicaciones serie, con la cámara climática y con el medidor LCR, mediante el *Recommended Standard 232* (RS-232).
- Establecer y monitorizar varios ciclos de valores de temperatura y humedad en el recinto climático.
- Automatizar la realización de mediciones, a distintas frecuencias, de la impedancia eléctrica del circuito.
- Monitorizar y graficar los valores obtenidos en los últimos treinta minutos por los dos dispositivos en cuestión.
- Implementar un temporizador que asegure un estado de régimen permanente del nuevo clima y las nuevas propiedades físicas que provoca al circuito eléctrico.
- Registrar todas las mediciones en un archivo excel en formato CSV, que facilite un futuro tratamiento y análisis de las mediciones resultantes.

Quedando fuera del alcance de este proyecto:

- Explicar completa y rigurosamente el funcionamiento del envío y recepción de datos.
- Explicar completa y rigurosamente el funcionamiento interno del controlador de procesos de la cámara climática, modelo Eurotherm 2604.
- Habilitar/deshabilitar o modificar las funcionalidades del regulador de procesos de la cámara climática, como reguladores Proporcional-Integral-Derivativo (PID), *timers*, alarmas u otros.
- Interpretar y valorar las mediciones obtenidas del circuito a medir.

1.4. Requisitos del proyecto

Para desarrollar este proyecto es importante tener una serie de conocimientos que faciliten la tarea de automatizar diversos procesos entre los tres dispositivos: cámara climática, medidor LCR y ordenador.

Es importante tener un conocimiento medio sobre LabVIEW, su funcionamiento y su modo de ejecución de los programas desarrollados, de forma que se evite escribir programación innecesaria o tener conflictos entre la gran variedad de tipos de variables. Mientras que unos conocimientos básicos del Microsoft Office y comunicación serie entre dispositivos, son suficientes para desarrollar correctamente los objetivos del proyecto. Todas las licencias han sido cedidas por convenios de las respectivas empresas con la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).

Es imprescindible disponer del material de trabajo como la cámara climática CCK-25/48 con regulador de procesos Eurotherm 2604, el medidor LCR Hameg 8118, cableado RS-232 y los sensores textiles. Estos últimos son los circuitos electrónicos a los que se miden sus impedancias eléctricas.

1.5. Justificación del proyecto

Meses antes este proyecto, el grupo RFEMC, en el contexto de su investigación, ha estado realizando numerosas mediciones con sus sensores textiles usando la misma metodología que la del proyecto, pero de forma manual. Esto quiere decir, que anteriormente se requería la presencia de una persona del RFEMC que estuviese cambiando constantemente las variables de temperatura y humedad de la cámara climática, viendo cuando se llegaban a establecer dichos valores y tomando las mediciones de impedancia eléctrica manualmente.

En estos experimentos anteriormente nombrados, se obtenían las impedancias eléctricas con una temperatura constante de 20°C y una humedad relativa desde los 25%RH hasta 90%RH, con un escalado de +5%RH. Cada vez que se alcanzaba el nuevo valor de humedad se medían las impedancias eléctricas en solamente cuatro frecuencias, de las sesenta y nueve que dispone el medidor LCR. Un proceso tedioso que, en caso de no ocurrir ningún fallo en la cámara, tendría una duración alrededor de las 8 horas laborables.

En los próximos meses, el RFEMC realizará nuevas mediciones donde se harán rangos de valores para la temperatura, de -10°C a 50°C, y para la humedad, de 20°C a 90°C. Pero en esta ocasión, se tomará dicho rango de humedades dentro de cada valor individual del rango de temperaturas, contando siempre un escalado de +5 en los dos parámetros. Dada la duración de las mediciones ya realizadas con solo un valor de temperatura, estas futuras mediciones que tienen 13 valores de temperatura, durarán alrededor de 104 horas, que en horario laboral equivaldría a dos semanas.

Al desarrollar una aplicación que realice el mismo proceso y registre los resultados de forma automatizada, no es necesario una persona que supervise el proceso. Además, es posible hacer todas las mediciones de forma continuada, lo que implica reducir el tiempo de obtención de las impedancias eléctricas a menos de 5 días.

2. Desarrollo

2.1. Antecedentes y estado del arte

El software LabVIEW fue creado por *National Instruments* (NI) hace más de treinta años, su primera versión data de 1986. Los ingenieros que desarrollaron este programan querían revolucionar el mundo de la programación, por esto que en su siguiente versión LabVIEW 2.0 llegaba con una gran novedad, la programación gráfica. Con esta nueva metodología de programación se pretendía facilitar la programación a cualquier persona que usase LabVIEW.

Desde el inicio, *National Instruments* diseño su aplicación con diversas funcionalidades, una de las más importantes fue la comunicación serie con herramientas de control que tuviesen una conexión *General-Purpose Instrumentation Bus* (GPIB) y/o RS-232. Tanto se ha ido desarrollando estas funcionalidades para la comunicación serie, que actualmente NI cuenta con más de 6.000 controladores de instrumentos de más de 225 fabricantes conocidos.

Esta gran librería ha ido incrementándose paulatinamente gracias a una comunidad de más de un millón de personas activas en los foros de la web de la empresa. Con ellos, esta empresa norteamericana recibe directamente el *feedback* de sus usuarios y da la bienvenida a cualquier idea de nueva funcionalidad que se pueda implementar. Tan desorbitado ha sido el incremento de usuarios del software, que actualmente es el líder en el sector de controladores de procesos.

Muchas universidades e instituciones del mundo ya cuentan con varias de sus licencias, además es sabido que LabVIEW se utiliza en grandes empresas como Boeing o la NASA, *National Aeronautics and Space Administration*, que diseñan unos aplicativos que controlan unos procesos donde se ven implicadas la integridad y salud de una gran cantidad de personas. [1]

2.2. Planteamiento y decisión sobre las soluciones alternativas

Este trabajo de final de master se ha podido implementar con otros softwares que tengan la misma finalidad que el LabVIEW, en la competencia se puede encontrar el *Matrix Laboratory* (MatLAB), desarrollado por MathWorks, también tiene las mismas funcionalidades el Qt Creator, desarrollado por Qt Projects.

Por varios factores, se han ido descartando cada una de las plataformas. El primer factor ha sido económico, NI y con MathWorks tiene convenios con la Universitat Politècnica de Catalunya para cederles licencias, reduciendo a cero su coste. El Qt Creator sin embargo, implicaría una inversión económica innecesaria para la universidad al ya tener programas que realicen las mismas tareas.

El segundo factor han sido las funcionalidades y facilidades de un software frente al otro. Pese a que MatLAB es una aplicación muy completa y fiable, sigue siendo necesaria una programación en lenguaje C++. Mientras que LabVIEW se ha de programar gráficamente, facilitando la creación de un aplicativo y una rápida y eficaz depuración.

Los investigadores principales del grupo RFEMC, conocen en profundidad el funcionamiento del LabVIEW. Por esta y las anteriores razones, se ha elegido este software para la ejecución de este trabajo de final de máster.

2.3. Materiales

A continuación, se van a describir todos los elementos utilizados para la realización del trabajo de final de grado, hay que mencionar que la totalidad del equipamiento utilizado forma parte del inventario de equipamiento del grupo RFEMC que se ha ido adquiriendo mediante la concesión de diferentes proyectos de investigación al equipo de investigación.

2.3.1. Cámara Climática CCK-25/48, Eurotherm 2604 y cableado



Ilustración 1: Cámara Climática CCK-25/48

La cámara climática empleada en este proyecto ha sido diseñada y fabricada por Dycometal. Se puede encontrar en el laboratorio del grup de investigación RFEMC, situado en el 2.26 del edificio TR2, en las instalaciones de la Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa, con acrónimo ESEIAAT, de la UPC.

Una cámara climática es un instrumento que permite la realización de diversos tipos de ensayos en los que se modifica la temperatura, humedad, presión y/u otras características climáticas. En este proyecto los ensayos climáticos solo se centran en la variación de la temperatura y la humedad.

Una vez introducido en su interior un sensor textil, sus propiedades físicas se verán modificadas debido a todas las variaciones climáticas que ocurren en el interior de la cámara. La propiedad física que se monitoriza en este proyecto es la impedancia eléctrica de dicho sensor.

En la pared lateral izquierda de la cámara se encuentra un agujero de 8 cm de diámetro que comunica con su interior. Este espacio hueco permite conectar los terminales HZ184 del medidor LCR al sensor.



Ilustración 2: Agujero en la cámara climática

En la tabla nº1 se describen las características de la cámara climática con más detalle. [2]

Cámara Climática - Dycometal CCK-25/48	
Capacidad	48 litros
Dimensiones Exteriores	90 x 80 x 90 cm
Dimensiones Interiores	30 x 40 x 40 cm
Material Interior	Acero Inoxidable AISI 304
Peso	615 Kg
Potencia	2,9 kW
Rango de Temperaturas	De -25°C a 150°C
Rango de Humedades	De 10%RH a 98%RH
Refrigerante	R-404a

Tabla 1: Características de la cámara climática CCK-25/48

Pese a que la cámara climática es quien se encarga de variar los parámetros climáticos en su interior, es un controlador de procesos quien se encarga de accionarla y regularla, pone en funcionamiento todo este complejo sistema mecatrónico.

Dada la gran importancia del regulador, es con éste con quien se ha de iniciar la comunicación serie mediante el software.



Ilustración 3: Regulador Eurotherm 2604

La unidad de control de la cámara climática, es el controlador diseñado y fabricado por Eurotherm, una empresa perteneciente a Schneider Electric. Se encuentra instalado en la parte superior derecha en la cara frontal de la cámara climática.

El modelo particular, es el 2604. Es un controlador de procesos modular, totalmente configurable, de alta precisión, que cuenta con hasta tres bucles de control que permiten regular tres parámetros climáticos de forma independiente.

Tiene una pantalla dual de 7 segmentos para mostrar los valores objetivo definidos por el usuario y los valores a tiempo real en el interior de la cámara climática. Más abajo, hay un panel LCD para interactuar con el regulador además de mostrar información y mensajes definidos por el usuario.

En tabla nº2 se enumera las características del controlador. [3]

Regulador - Eurotherm 2604	
Bucles de Control	3 PIDs independientes
Nº alarmas	2 alarmas
Nº E/S digitales	44
Nº E/S analógicas	2
Nº máximo de programas	50
Nº máximo segmentos/programa	500
Nº LEDs de estado	2
Nº pantallas 7 segmentos	2 pantallas - 5 cifras/pantalla
Nº pantallas LCD	1 pantalla
Nº timers	4
Terminales de comunicación	USB 2.0 tipo B y RS-232
Precisión de los Valores	< 0,1%

Tabla 2: Características del regulador Eurotherm 2604

El terminal habilitado para iniciar una comunicación serie con el controlador de procesos está ubicado en la parte superior izquierda de la cara lateral izquierda de la cámara climática. Se trata de una conexión serie RS-232. Este terminal está directamente conectado con el regulador de Eurotherm.



Ilustración 4: Terminal de comunicación de la cámara climática

Utilizaremos un Universal Serial Bus (USB) del ordenador para conectarse al dispositivo. Para hacer esta conexión se necesita un cable USB-Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (UART) con interfaz RS-232.

2.3.2. Medidor LCR y cableado

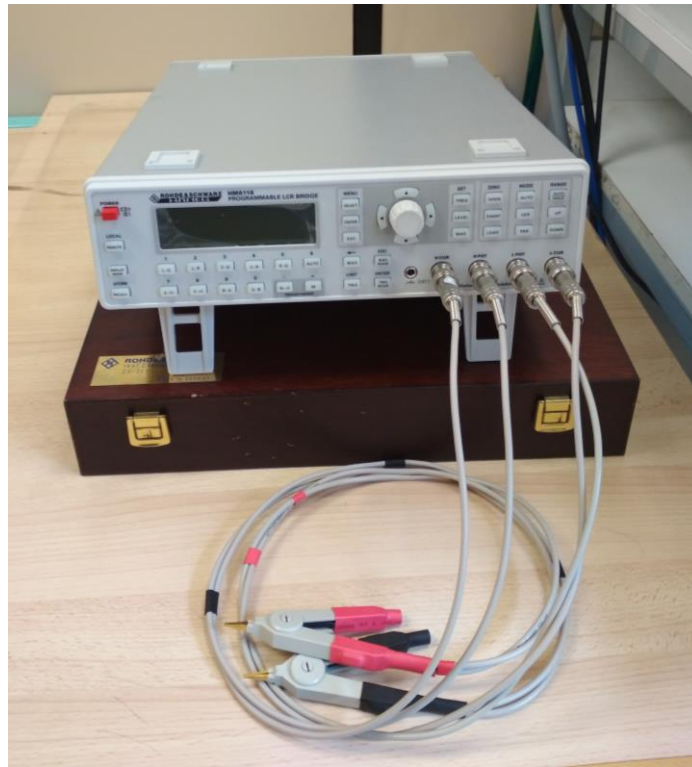


Ilustración 5: Medidor LCR Hameg 8118

El medidor utilizado en este proyecto es el Hameg HM8118, fabricado por Hameg Instruments. Dicho medidor se encuentra en la misma ubicación que la cámara climática, descrito en el apartado anterior.

Un medidor LCR permite obtener el valor de la impedancia en un circuito eléctrico, este modelo específico es capaz de mostrar dicha impedancia en 11 formatos distintos. Su funcionamiento se basa en la inyección una señal sinusoidal con un determinado voltaje y frecuencia definido por el usuario. Es importante mencionar que en la medición se utiliza el método Kelvin que consta de cuatro terminales en vez de dos, de esta forma se reduce el error de medición y permite obtener impedancias de valores muy reducidos. Los terminales usados en el Hameg HM8118 son los modelos HZ184 que constan de 4 terminales. [4]

En este proyecto, se ha usado el Hameg para medir la impedancia de los sensores textiles tras aplicar cada uno de los diferentes ensayos climáticos a los que se someten. Tras cada variación de temperatura o humedad dentro del habitáculo, es necesario dejar pasar un tiempo que permita que las propiedades del tejido se ajusten a las nuevas condiciones climáticas. Contra más tiempo pase las medidas será más fiables, no obstante, en el laboratorio se han observado las mediciones de las impedancias a tiempo real y una vez este valor deje de oscilar se considera que ya ha transcurrido el tiempo necesario. Como conclusión se estable que con 5 minutos es suficiente.

En tabla nº3 se describen las características del medidor con más detalle. [5]

Hameg HM8118	
Rango de Frecuencias	De 20 Hz a 200 kHz
Voltaje de testeo	1 V
Precisión	0,05%
Ratio de Mediciones	Hasta 12 mediciones por segundo
Tipos de Mediciones	L, R, C, Z , X, Y , G, B, D, Q, Θ , Δ , M, N
Tipo de Circuito	Automático o Manual (Serie o Paralelo)
Terminales de comunicación	USB 2.0 tipo B y RS-232
Potencia	20 W

Tabla 3: Características del medidor LCR Hameg 8118

La última parte del Hameg que se ha de explicar es su cableado de comunicaciones. Al igual que la conexión del regulador Eurotherm 2604, el medidor del laboratorio cuenta con una conexión RS-232 y además, una conexión USB 2.0 Tipo-B, una conexión de estructura más simple que el anterior. Para controlar el LCR se ha utilizado la conexión USB. Para ello se utiliza un cable de USB 2.0 Tipo-A Macho a USB 2.0 Tipo-B Macho.

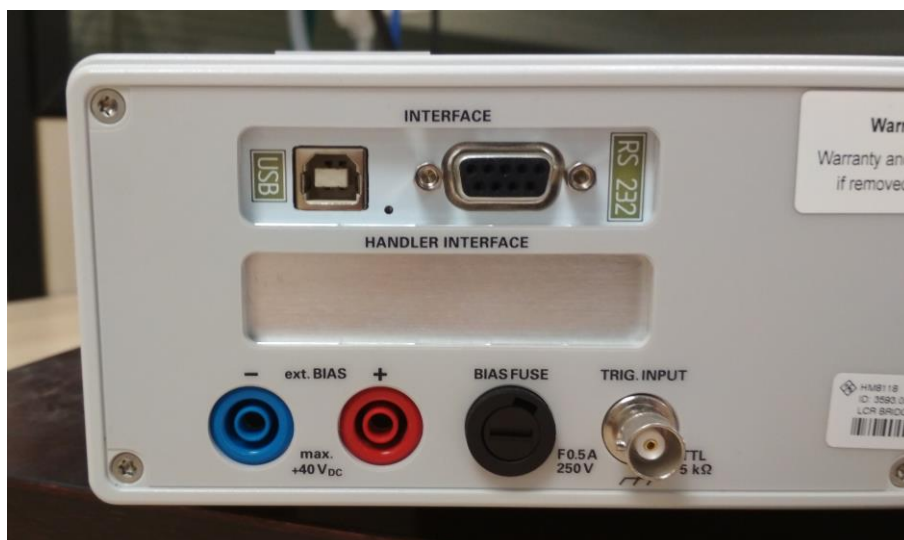


Ilustración 6: Terminal de comunicaciones del medidor LCR

2.3.3. LabVIEW



Ilustración 7: LabVIEW - Logo

Laboratory Virtual Engineering Workbench, conocido por su acrónimo LabVIEW, es un software diseñado por National Instruments. Este software de ingeniería permite diseñar aplicaciones donde se vean implicados sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, ya sea simulado o real y un sinfín de aplicaciones más. [6]

Para diseñar dichas aplicaciones se utiliza un lenguaje de programación gráfico de alto nivel. Con este tipo de lenguaje se consigue una excelente facilidad de uso tanto para usuarios con conocimientos muy reducidos como para programadores profesionales. Además, este tipo de lenguaje evita acabar teniendo miles de páginas de código texto como la mayoría de lenguajes de programación.

Todo programa realizado en LabVIEW se le llama *Virtual Instrument* o simplemente VI. Estos están formados por dos partes: el *front panel* y el *block diagram*. En el *front panel* se muestra la interfaz gráfica de la aplicación, mientras que el *block diagram* muestra la programación.

En este lenguaje gráfico, los *Virtual Instruments* se pueden representar en un bloque y ser utilizado como subprograma para futuras aplicaciones a diseñar. A continuación, se muestra en la ilustración nº8, un VI para establecer la temperatura de la cámara climática y otra ilustración que muestra su interior.

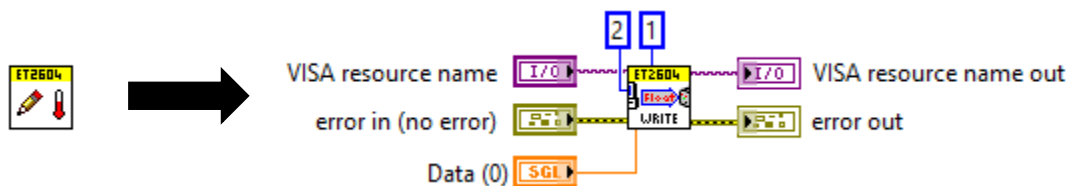


Ilustración 8: Ejemplo de un Virtual Instrument

En dicha ilustración nº8 donde se muestra un VI, no hay ningún tipo de tratamiento de datos que se pueda apreciar, al adentrarse en más y más subVIs se empezarán a ver los llamados *Structures*. Este recurso menciona son espacios delimitados en los que la programación que haya en su interior se ejecutará de una forma u otra. A continuación, se va a explicar los *Structures* más comunes y utilizados en este proyecto.

1. *Case Structure*: Este *Structure* es un bloque con una entrada booleana. En función del valor su *input* sea *true* ejecutará un código, en caso de ser *false*,

ejecutará otro programa distinto al anterior. La función análoga a del *case structure* en lenguaje C es el uso de *If*.

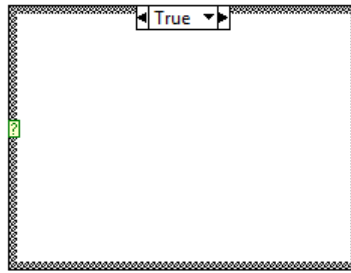


Ilustración 9: LabVIEW Structures - Case Structure

2. *While Loop*: El siguiente bloque repite toda la programación que se encuentra en su interior. No se saldrá de este bucle hasta que una variable sea *true*, se puede configurar para que el bucle finalice con un valor *false*. Este structure es el *While* o *Do While* en lenguaje C.

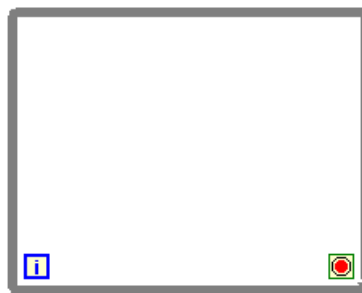


Ilustración 10: LabVIEW Structures - While Loop

3. *Flat Sequence*: El bloque que tiene un marco a cuadros, como las cintas de las películas antiguas, asegura que se ejecute la programación en el orden que el usuario defina. En este caso hay tres subdivisiones, hasta que todo el código de una subdivisión no se haya ejecutado, no se pasará a ejecutar el código de la siguiente subdivisión. Este *structure* se utiliza mucho para asegurar la correcta ejecución del código.

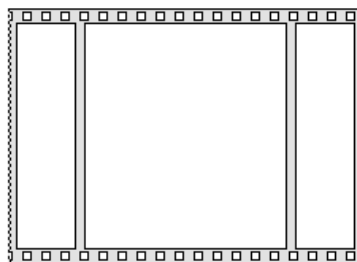


Ilustración 11: LabVIEW Structures - Flat Sequence

4. *For Loop*: Este *structure* es semejante al *While Loop*, el bloque repetirá la ejecución de la programación, pero en este caso no se necesita un booleano para salir de este bloque. En este caso, la variable N es un valor entero que define las veces que la programación se ha repetir.

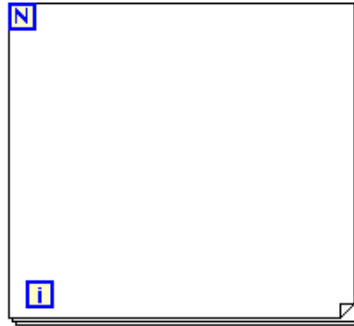


Ilustración 12: LabVIEW Structures - For Loop

2.4. Desarrollo de la solución elegida

2.4.1. Comunicación serie

Todos los dispositivos electrónicos tienen su propio formato en el envío y recepción de información a nivel interno. Este formato puede variar en función de la empresa que lo diseña, tipo de dispositivo u otros factores.

Una correcta comunicación entre los diferentes dispositivos electrónicos y el ordenador, es muy importante ya que el programa de control a desarrollar está en constante envío y recepción de datos.

La etapa de comunicación tiene tres pasos y se han de ejecutar en este estricto orden:

1. Inicio y configuración del canal de comunicación
2. Intercambio de información
3. Cierre del canal de comunicación

A continuación, se muestra la respectiva parte del VI que se encarga de iniciar y configurar todos los parámetros necesarios como *Stop Bits*, *Data Bits*, *Baud*, *Parity*, *Break Length*. Esta programación sirve tanto para el regulador como para el medidor LCR.

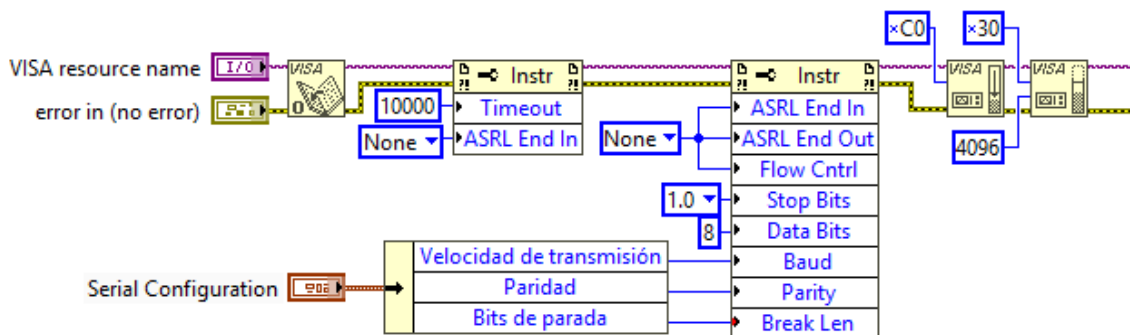


Ilustración 13: VI de inicio y configuración de la comunicación serie

Una vez iniciado y configurado el canal de comunicación con el respectivo dispositivo, se procede a ejecutar toda la programación que vaya a realizarse. El aplicativo de control a diseñar en LabVIEW ha de ser capaz de adaptarse a cada uno de estos lenguajes internos para asegurar una correcta comunicación, tanto al del regulador Eurotherm, como al del medidor LCR.

Para el intercambio de datos con el Eurotherm 2604, se han implementado unos VIs semejantes a otras versiones obtenidas del este regulador, que se explicaran en los posteriores apartados.

El último paso siempre es cerrar el canal de comunicación. No cerrar la comunicación al terminar el intercambio de información, puede ocasionar fallos de comunicación la próxima vez que se inicie una comunicación. Esta programación sirve tanto para el regulador como para el medidor LCR.

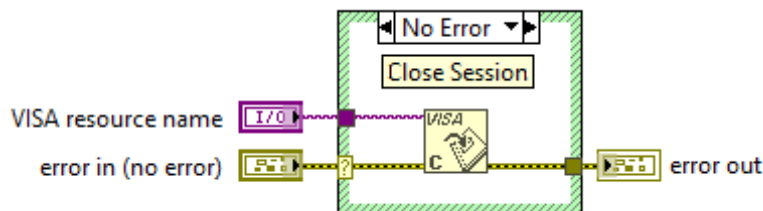


Ilustración 14: VI de cierre de la comunicación serie

2.4.1.1. LabVIEW – Eurotherm 2604

Debido a que este modelo del regulador tiene una gran variedad de prestaciones y variaciones dentro del mismo modelo, no hay diseñados unos drivers para habilitar un correcto envío y recepción de datos para el modelo Eurotherm 2604 de la cámara climática. No obstante, los drivers para los modelos 24XX, 32XX y 35XX si están disponibles en la web de National Instruments.

Partiendo de estos tres drivers disponibles de otras versiones, se han buscado las similitudes entre ellos para construir los drivers del 2604. Tras un elevado número de

horas con pruebas y ensayos se ha encontrado la manera correcta de comunicarse con el regulador.

En la siguiente ilustración se muestra el VI que configura el *setpoint* de temperatura, donde se entiende *setpoint* como el valor fijado, el valor que se ha de alcanzar en régimen permanente.

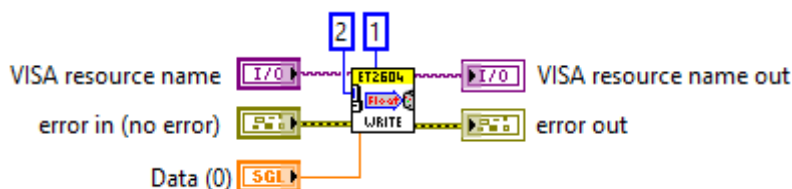


Ilustración 15: VI de configuración del setpoint de temperatura

La variable naranja Data, de tipo single, es el valor de la temperatura a la que se quiere configurar la cámara climática para que alcance dicho valor. El numero azul izquierdo es la dirección del registro donde se encuentra el valor que controla la temperatura objetivo. Por último, el numero azul derecho, indique el modo en el que se ha iniciado la comunicación, el valor 1 se corresponde con una comunicación serie.

Todos los reguladores de esta empresa gestionan su información en un registro, cada dirección de su registro accede a un valor distinto que tiene una determinada funcionalidad del controlador de procesos. Para averiguar la dirección del registro de un valor concreto se ha de utilizar, iTools Engineering Studio, el software diseñado por Eurotherm para controlar el regulador en su totalidad.

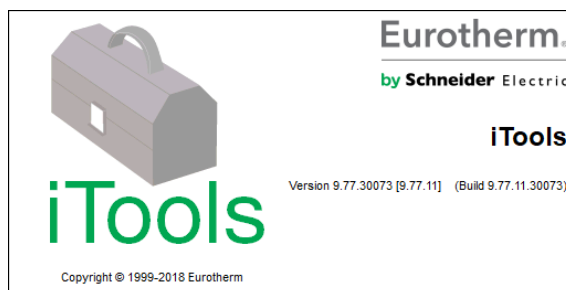
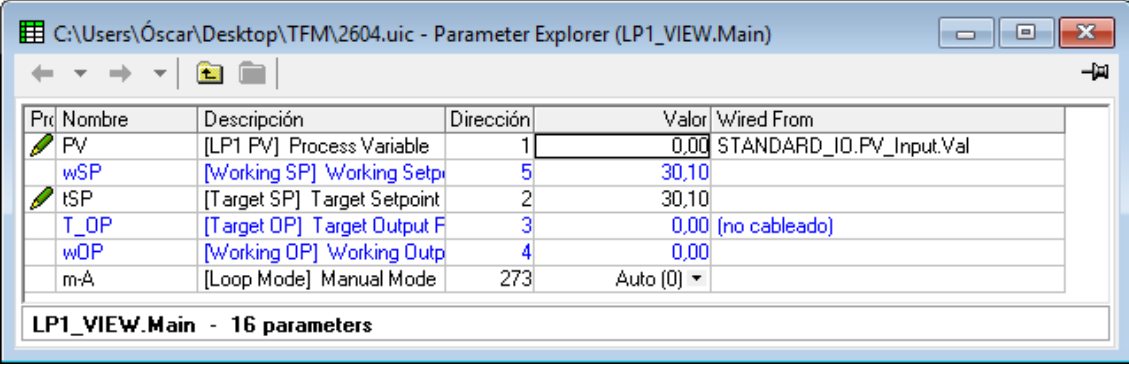


Ilustración 16: iTools Engineering Studio – Logo

En este mismo software es donde se puede acceder a toda la lista de direcciones del controlador de procesos. Se muestra el valor actual, su dirección, su descripción y si el valor se puede editar.

Para tener acceso a toda esta ventana de registros es imprescindible que el ordenador de trabajo esté conectado a la cámara climática en su terminal de comunicación con el correspondido cableado, ilustración 4. Una vez este el dispositivo climático conectado, hay que dirigirse al menú superior ‘Dispositivos’ del Itools y hacer clic en ‘Activar el escaneo de fondo’ para que el software detecte el controlador de procesos Eurotherm 2604. Una vez detectado, en este mismo menú ir a la opción ‘Set Access Level’ donde se configura el programa con acceso para ingenieros

En la siguiente ilustración nº17 se muestra el registro de temperatura del regulador. Donde la segunda y tercera columna es el nombre interno de la variable en el controlador y su descripción. Las dos columnas siguientes a la derecha son de especial interés, muestra el número del registro donde se encuentra dicha variable y su valor actual. Con este número de registro se modifica el VI de la ilustración nº15 para que modifique una variable u otra.



Pr	Nombre	Descripción	Dirección	Valor	Wired From
	PV	[LP1 PV] Process Variable	1	0,00	STANDARD_IO.PV_Input.Val
	wSP	[Working SP] Working Setpoint	5	30,10	
	tSP	[Target SP] Target Setpoint	2	30,10	
	T_OP	[Target OP] Target Output F	3	0,00	(no cableado)
	wOP	[Working OP] Working Outp	4	0,00	
	m-A	[Loop Mode] Manual Mode	273	Auto (0)	

LP1_VIEW.Main - 16 parameters

Ilustración 17: iTools Engineering Studio – Acceso a registros

2.4.1.2. LabVIEW – Medidor LCR

Los VIs necesarios para establecer una total comunicación con el Medidor LCR, HM8118, están disponibles de forma gratuita en la página web de National Instruments. [7]

Para entender el funcionamiento de la comunicación en este instrumento, se ha elegido aleatoriamente el VI encargado de configurar el tipo de circuito y otros parámetros que permiten la obtención de la impedancia del sensor textil.

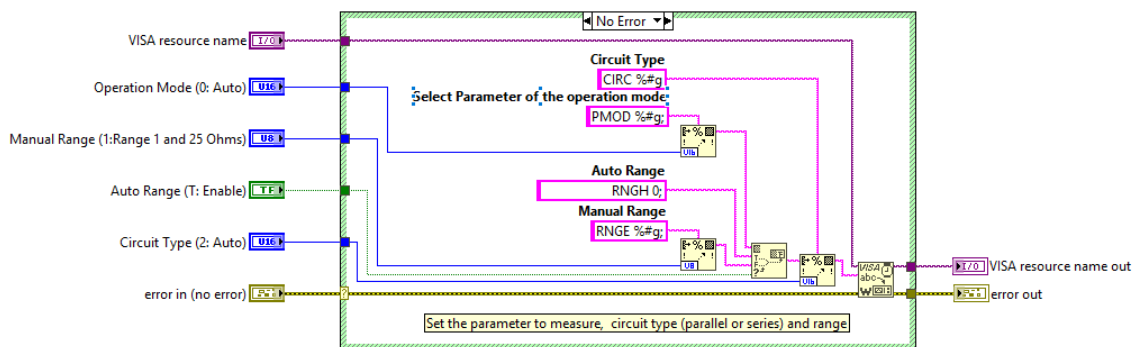


Ilustración 18: VI de configuración del circuito y parámetros

A continuación, se muestra una imagen donde se ha monitorizado la información que se envía por el puerto serie del ordenador al medidor LCR. Se puede observar que la forma de comunicarse es mediante una cadena de texto formada por diversos comandos separados con un punto y coma entre ellos. Se envía el nombre del comando y a continuación el valor al que se configura.

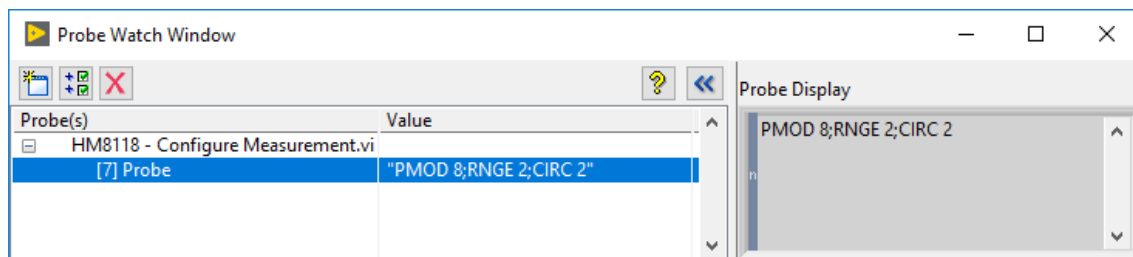


Ilustración 19: Monitorización del puerto COM al medidor LCR

2.4.2. Funcionamiento de la aplicación

La aplicación desarrollada cuenta con tres pestañas en la parte superior. Cada una de ellas tiene una funcionalidad muy diferenciada a las otras. A continuación, explicaremos con detalle cada una de estas pestañas y como interactuar con ellas.

2.4.2.1. Comunicación

Al iniciar el software diseñado, se muestra la pestaña de “Comunicación”. La principal función de esta primera parte es definir la configuración de los dos canales de comunicación.



Ilustración 20: Interfaz gráfica - Pestaña Comunicación

Los valores establecidos al iniciarse la aplicación, ya son los correctos para habilitar los canales de comunicación. En caso de querer modificarlos, se muestra una tabla con los distintos valores seleccionables de cada parámetro.

Parámetros	Cámara Climática	Medidor LCR
Velocidad de transmisión	300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600	300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600
Control flujo de datos	-	No, XON/XOFF, RTS/CTS, XON/XOFF & RTS/CTS, DTR/DSR, XON/XOFF & DTR/DSR
Paridad	No, impar, par, espaciada, marcada	No, impar, par, espaciada, marcada
Bit de datos	-	7, 8
Bits de parada	0, 1.5, 2	1, 1.5, 2

Tabla 4: Valores seleccionables de los parámetros que configuran la comunicación

Para averiguar que puerto corresponde a la cámara climática y cual al Hameg 8118, basta con abrir el administrador de dispositivos de Window y ver el apartado ‘Puertos (COM y LPT)’. Todo esto puede verse en la ilustración nº21, siendo una captura de pantalla modificada para mostrar únicamente la información relevante para el proyecto.

Los puertos COM no tendrán la misma numeración, es por esto que se recomienda abrir el administrador de dispositivos antes de iniciar el aplicativo diseñado en este proyecto para evitar cualquier error que pueda ocurrir.

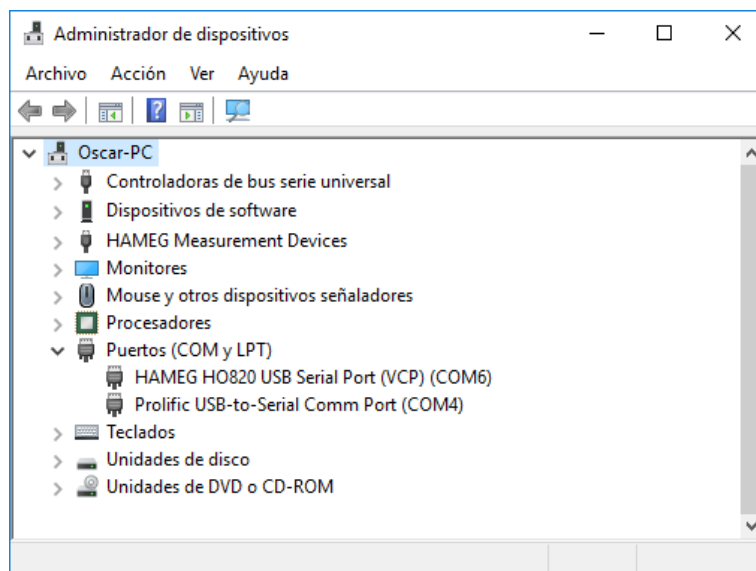


Ilustración 21: Administrador de dispositivos

Volviendo a la interfaz gráfica, se aprecia que aparte de los parámetros de configuración, hay un *pushbutton* para seleccionar que parámetro se fija primero. Estrictamente, no es una variable relacionada con la comunicación serie, pero es una variable crítica al ejecutarse la aplicación y no ha de ser modificada una vez se ejecuten las mediciones, ya que cambiaría el modo de ejecución del programa y no se podría garantizar un correcto funcionamiento.

Esta variable toma más sentido cuando se tienen que hacer bucles de mediciones, que se explican en el siguiente apartado.

Esta es la única pestaña a la que no se puede regresar para modificar los parámetros una vez iniciada la aplicación, hay que asegurarse de introducir los datos correctamente. Una vez introducidos los datos correctos, se hace clic en 'Parámetros' para avanzar a la siguiente pestaña.

2.4.2.2. Parámetros

Una vez se realiza la configuración de la comunicación entre dispositivos, la siguiente pestaña es la de 'Parámetros'. En esta fase de la aplicación, el usuario introduce los valores de los ensayos climáticos que quiere realizar en la cámara climática y como han de ser las mediciones que tome el medidor LCR.

Esta parte de la interfaz de usuario tiene tres partes. Las dos primeras, muy semejantes a la pestaña anterior, son para configurar la cámara climática y la otra para el medidor LCR. La tercera parte es independiente a los dispositivos, configura la ejecución del software diseñado.

The screenshot shows the 'Parámetros' tab of a software interface. It features three main configuration panels. The 'Cámara Climática' panel on the left allows setting a loop for temperature or humidity, with specific values for temperature, error, start, error, scaling, and end. The 'Medidor LCR' panel in the center configures the LCR meter's circuit type, output format, auto-scale mode, and frequency range. The right panel sets the Excel storage path and the permanent regime. A large 'Iniciar' button is positioned at the bottom right.

Ilustración 22: Interfaz gráfica - Pestaña Parámetros

Por la parte de la cámara climática se define el hacer, o no, un bucle con distintos valores tanto de temperatura como humedad. Esto sirve principalmente, para hacer varias mediciones de humedad con la misma temperatura o viceversa. Esta funcionalidad es muy

útil puesto que en lo requerimientos se necesitan realizar ensayos climáticos con 20°C y un rango de humedades entre 25% y 80%.

En caso de tener que introducir varios valores de estos parámetros, se ha de activar el *checkbox* de temperatura y/o humedad y definir cuatro parámetros:

- Inicio: Establece este valor el primero del bucle.
- Error: Es la diferencia permisible que puede haber entre el valor establecido y el valor medido para poder tomar mediciones del sensor textil.
- Escalado: Es el valor al cual se le sumara el valor establecido, para obtener el siguiente valor a establecer.
- Fin: Establece este valor como el último del bucle.

En caso de querer establecer solo un valor en el parámetro, basta con desactivar el *checkbox* e introducir los valores números 1 y 2 del anterior listado.

Además, se ha añadido un sistema de seguridad por el cual, en caso de que establezca un valor por encima del final, este será obviado y se establecerá dicho valor final.

La segunda parte, la del Medidor LCR, se han de elegir diversos parámetros como:

- Tipo de circuito: Circuito en serio, paralelo o modo automático.
- Formato de salida: Se define en que formato se muestran las mediciones.
- Modo autoescala: Activa o desactiva el modo autoescalado.
- Escala manual: Si el modo autoescala esta desactivado, se introduce los rangos disponibles para escalar las mediciones.
- Frecuencia Inicial: Frecuencia de la primera medición.
- Frecuencia Final: Frecuencia de la última medición.

Es importante remarcar que el medidor LCR cuenta con 69 valores de frecuencia establecidos por sus fabricantes. Se tomará mediciones de todas las frecuencias entre la inicial y la final.

La tercera y última parte, no está relacionada con la cámara climática ni con el medidor LCR, si no con la ejecución del LabVIEW. El primer parámetro, define la ruta donde se guardarán las mediciones tomadas, tanto por parte de la cámara climática como el medidor LCR. Para su correcto almacenamiento, dicho archivo ha de ser un excel en formato CSV. Se muestra a continuación un ejemplo del resultado de este almacenamiento.

	A	B	C	D	E	F
1	Temperatura	Humedad	Frecuencia	Parámetro 1	Parámetro 2	
209	25,007	40,732	20	409077600	-47,145	
210	25,006	40,717	24	372163300	-47,684	
211	25,004	40,703	25	363686400	-49,895	
212	25,003	40,69	30	327797100	-52,133	
213	25,005	40,679	36	285359200	-55,078	
214	25,006	40,667	40	275487800	-55,592	
215	25,006	40,658	45	247194200	-58,292	
216	25,005	40,649	50	180900800	-68,978	
217	25,004	40,639	60	209589200	-60,278	
218	25,003	40,63	72	184670600	-61,816	
219	25,001	40,617	75	177758400	-62,666	
220	25	40,604	80	171591000	-63,155	
221	24,998	40,591	90	157248700	-64,239	
222	24,999	40,578	100	145899900	-65,238	
223	24,999	40,56	120	126694300	-66,813	
224	25	40,548	150	112726700	-70,741	
225	24,998	40,537	180	91719120	-69,894	
226	24,997	40,528	200	84210660	-70,7	
227	24,999	40,52	240	72454030	-71,791	
228	24,998	40,516	250	69202100	-72,34	
229	25	40,509	300	60143510	-73,014	
230	24,999	40,504	360	51532460	-73,827	
Mediciones nuevas						

Ilustración 23: Excel CSV resultante

El último parámetro a introducir es una variable temporal, como ya se ha dicho antes en el apartado 2.3.3.1., una vez se llegue a régimen permanente tanto en temperatura como en humedad, se le ha de permitir un tiempo para asegurarse que el sensor textil adquiere las nuevas propiedades climáticas a las que se encuentra. Una vez se hayan alcanzado los valores objetivo y se mantengan dentro de lo permitido, por la variable ‘Error’, el medidor LCR iniciará las mediciones.

Una vez se han introducido correctamente todos los valores, clic en el *pushbutton* ‘Iniciar’. Al presionar este último botón se inicia el control, regulación y monitorización de todos los dispositivos implicados hacer las mediciones de la impedancia del sensor táctil, desde la cámara climática al medidor LCR pasando en todo momento por la programación de LabVIEW.

2.4.2.3. Medición

La ultima pestaña se llama ‘Medición’. Tal como dice su propio nombre, en esta pestaña solamente se monitoriza las mediciones que se van tomando tanto en el deposito climático como las impedancias obtenidas por el Hameg 8118.

Es importante mencionar que en cualquier momento el usuario puede hacer clic en el botón ‘Parámetros’ situado en la parte baja, para volver a esta pestaña y modificar cualquier valor que se desee para las futuras mediciones. La única variable que no se puede modificar una vez iniciada las mediciones, son ambos *checkboxes* que activa/desactiva los bucles de los valores, tanto de temperatura como humedad.

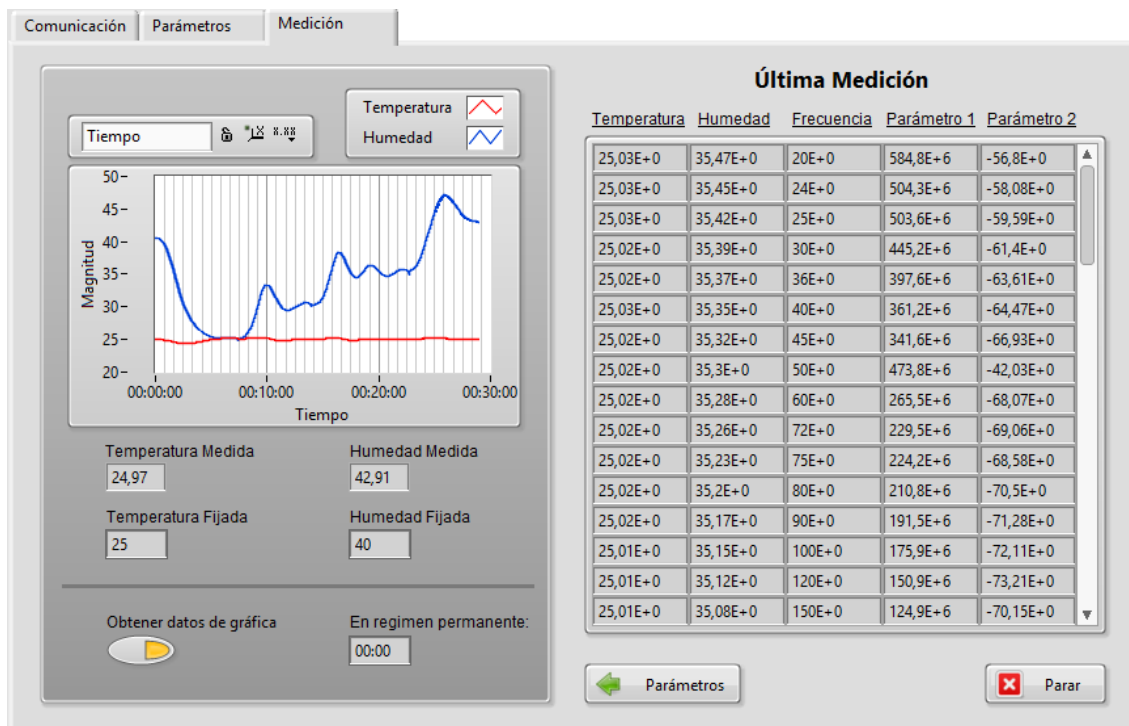


Ilustración 24: Interfaz gráfica - Pestaña Medición

Aunque en esta parte de la interfaz no aparezcan explícitamente los nombres de la cámara climática o el medidor LCR, se puede observar, que nuevamente la parte izquierda de la pestaña monitoriza todas las lecturas de temperatura y humedad del recinto climático donde se halla el sensor textil. La gráfica tiene una ventana de treinta minutos donde se muestran los últimos valores en la cámara. Bajo esta, encontramos cuatro etiquetas que muestran al usuario los valores tanto medidos, como fijados de temperatura y humedad.

En la parte derecha de esta interfaz se ira mostrando progresivamente las lecturas que realice el medidor LCR. Esto ocurrirá cuando la variable ‘En régimen permanente’, se iguale con la variable temporal de la anterior pestaña. Esta matriz de valores no se resetea a cero hasta que no vaya a realizarse la siguiente medición con el Hameg 8118.

Esta pestaña apenas es interactiva con el usuario, la única interacción es el interruptor con nombre ‘Obtener datos de gráfica’. De estar activado este booleano cuando se terminen todas las mediciones programadas por el usuario, LabVIEW creará un excel en formato CSV con todos los puntos que se han ido almacenando en la gráfica. De esta forma, es muy simple exportar los datos a cualquier otro software. Se muestra un ejemplo en la ilustración nº25.

	A	B	C	D	E
1	Tiempo - Temperatura	Magnitud - Temperatura	Tiempo - Humedad	Magnitud - Humedad	
2	1:46:52	24,9771	1:46:52	68,2022	
3	1:46:52	24,9773	1:46:52	68,2016	
4	1:46:52	24,977	1:46:52	68,2009	
5	1:46:52	24,9771	1:46:52	68,2001	
6	1:46:52	24,9774	1:46:52	68,1994	
7	1:46:53	24,9774	1:46:53	68,1988	
8	1:46:53	24,9773	1:46:53	68,1981	
9	1:46:53	24,977	1:46:53	68,1975	
10	1:46:53	24,977	1:46:53	68,1968	
11	1:46:53	24,977	1:46:53	68,1961	
12	1:46:53	24,9764	1:46:53	68,1961	
13	1:46:53	24,9759	1:46:53	68,1954	
14	1:46:53	24,9757	1:46:53	68,1946	
15	1:46:53	24,9761	1:46:53	68,1939	
16	1:46:53	24,9767	1:46:53	68,1932	
17	1:46:54	24,9771	1:46:54	68,1926	
18	1:46:54	24,9774	1:46:54	68,192	
19	1:46:54	24,9774	1:46:54	68,1914	
20	1:46:54	24,9777	1:46:54	68,1911	
21	1:46:54	24,9778	1:46:54	68,1908	
22	1:46:54	24,9774	1:46:54	68,1906	
23	1:46:54	24,977	1:46:54	68,1906	

Ilustración 25: Excel de puntos de gráfica

2.4.3. Programación

Debido a que toda la programación gráfica es muy extensa como para mostrarlo, se ha publicado el código de programación completo en el dominio web de GitHub. [8]

La programación gráfica de esta aplicación transcurre a lo largo de un gran *Flat Sequence* que consta de cinco secuencias, en las que cada una se encarga de lo siguiente:

1. Establecer y configurar los parámetros de la pestaña ‘Comunicación’.
2. Establecer y configurar los parámetros de la pestaña ‘Parámetros’.
3. Habilita la comunicación entre dispositivos y estable la pestaña ‘Mediciones’.
4. Envío/Recepción de datos entre dispositivos.
5. Deshabilita la comunicación entre dispositivos.

En los siguientes apartados se describe con detalle cada una de estas partes de la programación desarrollada para este proyecto.

2.4.3.1. Primera secuencia del *Flat Sequence*

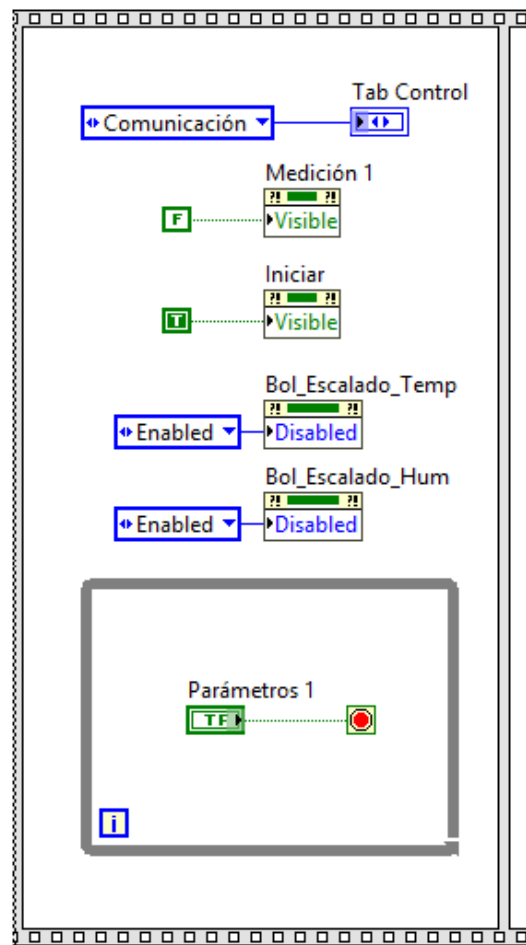


Ilustración 26: Primera secuencia del *Flat Sequence*

El inicio de la programación es la parte más simple. Este *Flat Sequence*, se encarga de inicializar el aplicativo en la pestaña ‘Comunicación’ de la interfaz gráfica y se mantendrá en esta pestaña para que se configuren los parámetros de comunicación. Se saldrá del bucle una vez se pulse el *pushbutton* de ‘Parámetros’. (Ver la ilustración n°20)

Cuando finalice la ejecución de todo el aplicativo diseñado, al volver a ejecutarlo se observa que algunos parámetros gráficos como *visible* o *disabled* de ciertas variables de la siguiente pestaña no vuelven a su valor por defecto. Por lo que el pulsador que acciona la apertura del canal de comunicación y los dos *checkboxes* que habilitan los bucles de valores de temperatura y humedad, quedarían completamente inhabilitados. Dicho problema afecta a la funcionalidad del software de este proyecto, por este motivo, se han establecido los parámetros *visible* y *disabled* que afectan a estos accionadores.

2.4.3.2. Segunda secuencia del *Flat Sequence*

El segundo Flat Sequence gestiona toda la pestaña de “Parámetros”, mostrada en la ilustración nº 27.

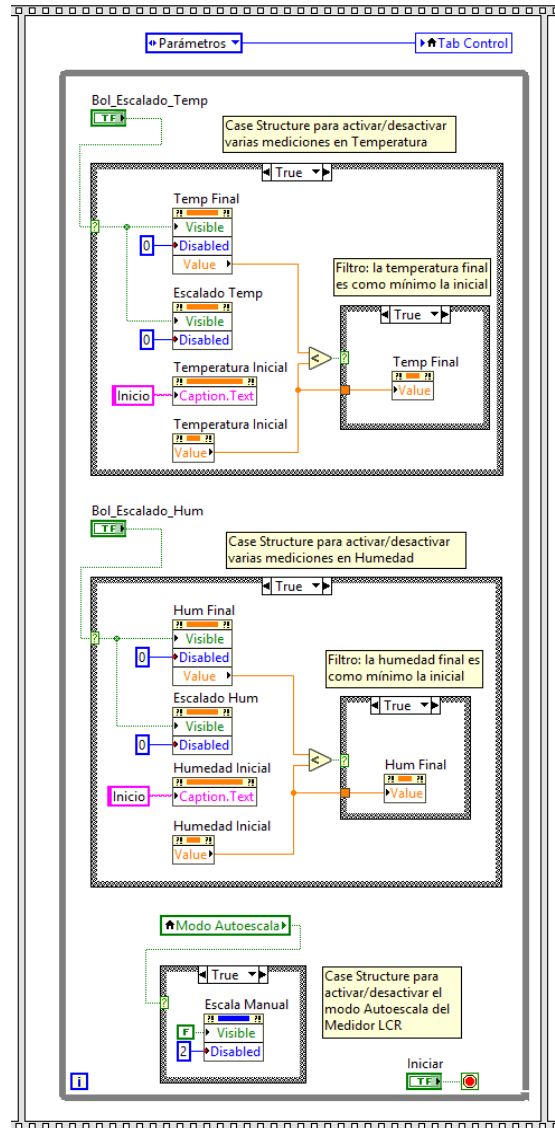


Ilustración 27: Segunda secuencia del Flat Sequence - True

En la estructura del código podemos ver en la parte más elevada, que la programación activa el apartado gráfico de ‘Parámetros’. Aparte de esto, el resto se encuentra dentro de un bucle *while*, compuesto por tres *case structures*, del que solo se sale con el pulsador ‘Iniciar’.

Los dos primeros *cases structures* sirven para controlar los cambios gráficos y de valores al activar/desactivar los *checkboxes* de temperatura y humedad de la cámara climática. En caso de tener activados cualquier *checkbox*, se habilitan los cuatro *Numeric Controls* y se detallan los *caption* de alguno de ellos, de forma que se puede introducir los cuatro parámetros descritos en el apartado 2.3.3.2. Dentro estos cases, hay otro *case*

structure que sirve de filtro de seguridad, asegurando que los valores finales de los parámetros climáticos sean igual o mayores que los iniciales.

Por último, el tercer *case structure* principal, se encarga de habilitar/deshabilitar el modo autoescala que ofrece el medidor LCR Hameg 8118. En caso de estar habilitado se oculta el *menu ring* con el que se eligen los rangos de medición.

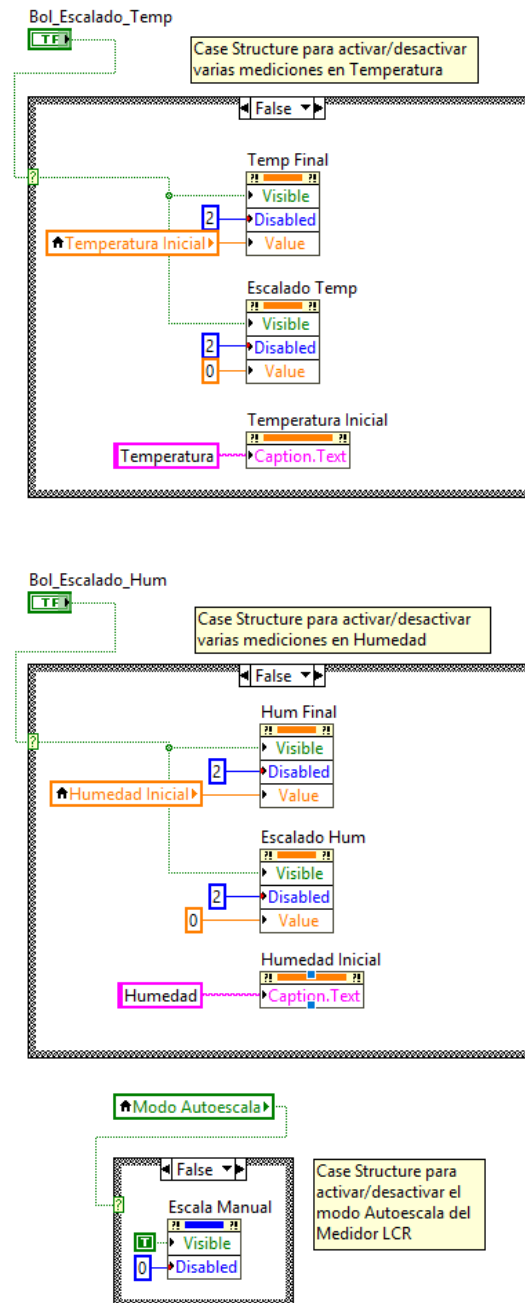


Ilustración 28: Segunda secuencia del Flat Sequence - False

En todo momento se ha descrito cuando los tres principales *cases* se encuentran en su estado *true*, es decir, con los *checkboxes* activados. Ahora se detallará esta misma parte del código, pero en los estados *false* de estos *cases*, ver ilustración nº28.

Ante esta situación, los dos primeros *cases structures* se encargan de ocultar y desactivar los *menu rings* de escalados y temperatura/humedad final. Por seguridad, se han establecido unos valores a dichas variables para asegurar que no provoquen fallos cuando se ejecuten las mediciones.

Un *false* en el último *case structure* hace mostrar el *menu ring* para que el usuario pueda elegir los rangos de medición del medidor LCR.

2.4.3.3. Tercera secuencia del *Flat Sequence*

El tercer *Flat Sequence* se activa una vez accionado el pulsador ‘Iniciar’ en la pestaña ‘Parametros’ de la interfaz gráfica.

Al entrar en esta etapa se muestra la pestaña “Medición” en la interfaz gráfica y además se ejecutan los dos VIs que se muestran en la ilustración anterior. Ambos se encargan de inicializar el canal de comunicación con los dos instrumentos del laboratorio. Estos VIs tienen como *inputs*: un *VISA Resource Name*, que se detecta todos los puertos COM habilitados del ordenador y un *cluster* que consta entre tres y cinco elementos con todos los parámetros de la configuración del canal de comunicación enumerados en el apartado 2.3.3.1. Debido a la gran extensión del código principal, se guardan los outputs del bloque inicializador de la comunicación del medidor LCR en la variable llamada “*Out 2*”

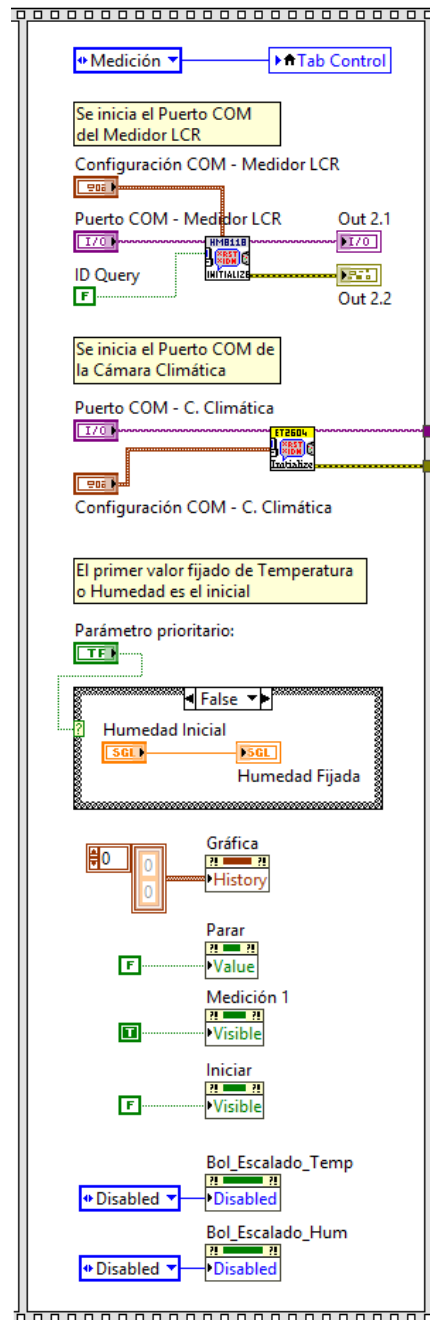


Ilustración 29: Tercera secuencia del Flat Sequence

Justo debajo de los VIs comentados, hay un *case structure* basado en el *switch* de la parte gráfica “Comunicación” que accederá a un caso u otro en función del parámetro climático que se ha definido como el prioritario. Esta variable toma sentido para cuando vayamos a hacer un bucle de valores, ya sea temperatura o humedad.

El parámetro prioritario es el que se mantiene constante más tiempo cuando los dos parámetros se realicen en bucle, a continuación, se muestra un ejemplo con los mismas condiciones y distinto parámetro prioritario:

	Temperatura	Humedad
Valor Inicial	35 °C	65 %RH
Escalado	+5 °C	+5 %RH
Valor Final	45 °C	75 %RH

Tabla 5: Ejemplo de rango de valores climáticos

	Temperatura prioritaria		Humedad prioritaria	
	Temperatura	Humedad	Temperatura	Humedad
Valores nº 1	35 °C	65 %RH	35 °C	65 %RH
Valores nº 2	35 °C	70 %RH	40 °C	65 %RH
Valores nº 3	35 °C	75 %RH	45 °C	65 %RH
Valores nº 4	40 °C	65 %RH	35 °C	70 %RH
Valores nº 5	40 °C	70 %RH	40 °C	70 %RH
Valores nº 6	40 °C	75 %RH	45 °C	70 %RH
Valores nº 7	45 °C	65 %RH	35 °C	75 %RH
Valores nº 8	45 °C	70 %RH	40 °C	75 %RH
Valores nº 9	45 °C	75 %RH	45 °C	75 %RH

Tabla 6: Ejemplo de orden de valores climáticos fijados

La ilustración nº30 muestra a la izquierda el *case structure* que prioriza la temperatura, mientras que en el lado derecho se prioriza la humedad.

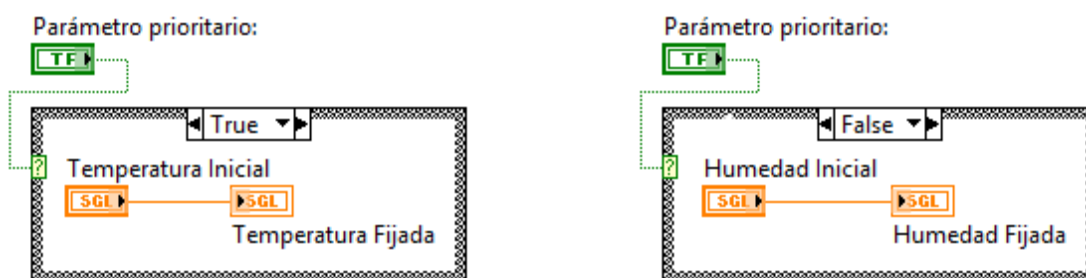


Ilustración 30: Variaciones del caso de la Tercera secuencia del Flat Sequence

Es importante mencionar que la temperatura/humedad inicial es el valor en el que se inicia el bucle, por lo tanto, es un valor constante. Mientras que la temperatura/humedad fijada es el valor que está fijado en ese mismo instante, es un valor que se incrementa con el tiempo.

Por último, debajo del *case structure* explicado, se establecen algunas variables y objetos gráficos a sus valores por defecto para evitar conflictos en caso de reiniciar el aplicativo diseñado. También se eliminan los valores de la matriz de la pestaña 'Medición', poniéndolos a cero. Y por último, se bloquean los *checkboxes* que activan/desactivan los bucles de valores en temperatura y/o humedad, debido a que su funcionamiento puede verse afectado. Por último, se habilitan y deshabilitan, mediante booleanos, los pulsadores, para interactuar entre estas dos pestañas recién mencionadas.

2.4.3.4. Cuarta secuencia del *Flat Sequence*

En este instante todos los canales de comunicación están habilitados y configurados, por lo que se puede proceder a hacer las mediciones. Esta es la finalidad del cuarto *flat*, mantener el flujo de datos hasta que se realicen todas las mediciones definidas por el usuario. Ejecutar y asegurar todo este proceso hace que sea el *Flat Sequence* más largo con diferencia de todo el código de programación.

A pesar de ser un *Flat Sequence* muy largo, se han diseñado varios VIs auxiliares para acceder correctamente al registro indicado en cada momento y poder simplificar el código. A continuación, se muestran varias ilustraciones de estos *Virtual Instruments*.

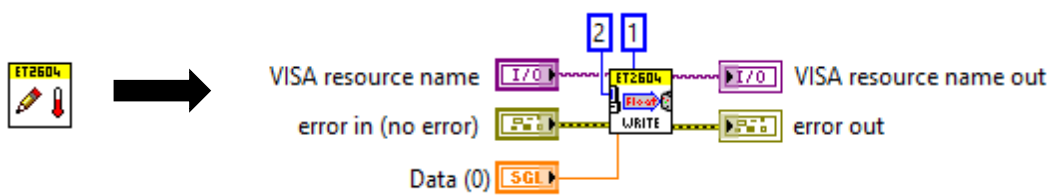


Ilustración 31: VI auxiliar - Write Temperature

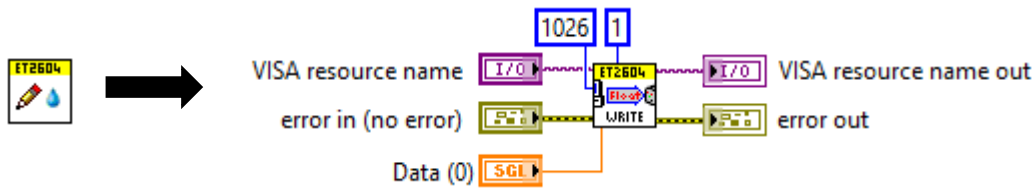


Ilustración 32: VI auxiliar - Write Humidity

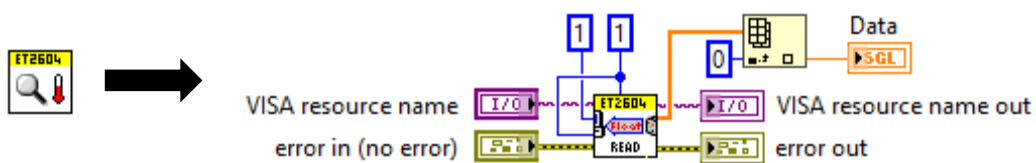


Ilustración 33: VI auxiliar - Read Temperature

Read Humidity

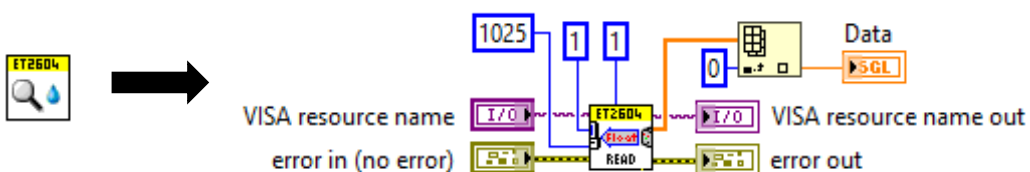


Ilustración 34: VI auxiliar - Read Humidity

Todos los Virtual Instruments auxiliares tiene en su interior otro VI, encargado de enviar o recibir las tramas de bytes entre el puerto COM del ordenador y la cámara climática. No se va a explicar el funcionamiento de este último VI mencionado porque está fuera del alcance de este proyecto. Además, no han sido diseñados, solamente adaptados desde otra versión que no es la del regulador 2604.

En el caso de los subprogramas *Read*, se devuelve una matriz donde el primer valor es el buscado. Estos *Virtual Instruments* tienen como *input* el número de registro que controla cada uno de los parámetros climáticos. Las direcciones de los registros se han obtenido mediante el software iTools Engineering Studio como se ha mencionado en el apartado 2.3.2.1. A continuación se muestran las direcciones de los registros.

	Temperatura	Humedad
Escritura	2	1026
Lectura	1	2015

Tabla 7: Dirección de registros de Temperatura y Humedad

En dos situaciones del código de programación principal es imprescindible saber si los parámetros climáticos medidos en la cámara climática son los fijados por el usuario. El usuario define este valor además del error permisible en las mediciones.

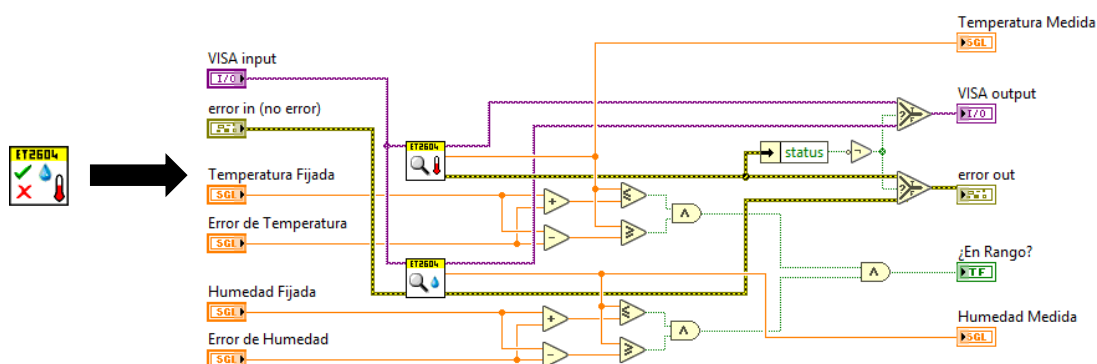


Ilustración 35: VI auxiliar - Check Temperature and Humidity

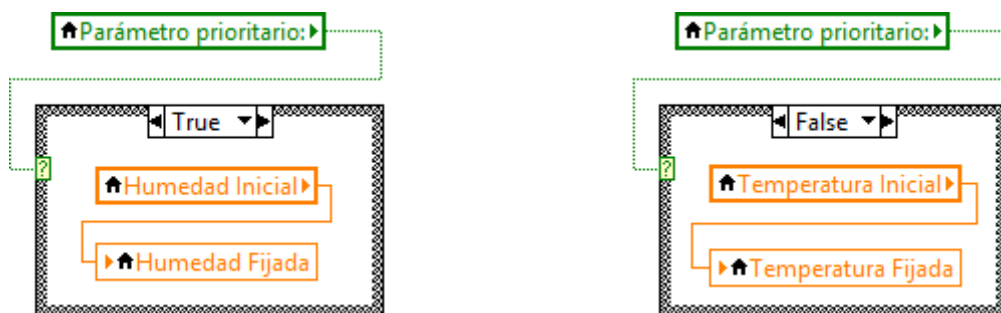
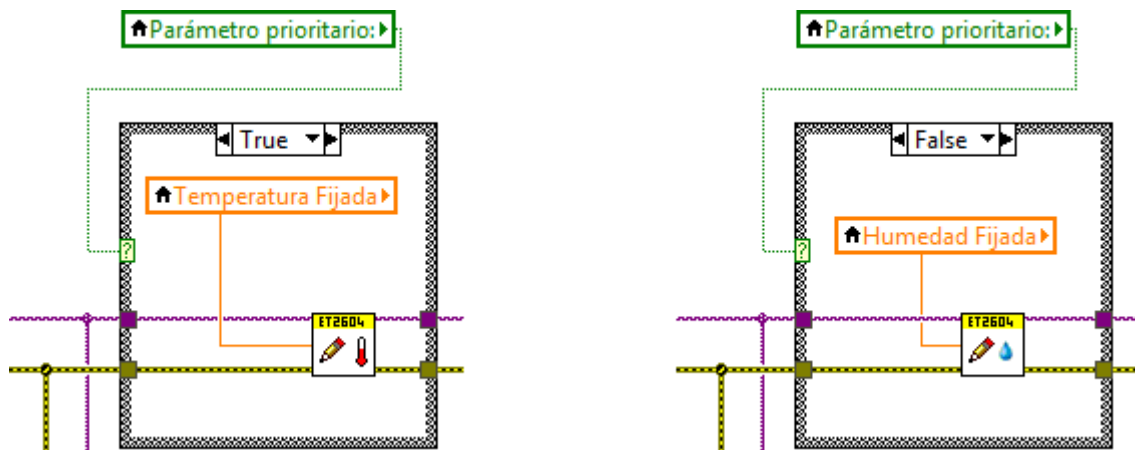
Para llevar a cabo este VI se necesitan seis *inputs*, dos de ellos para la temperatura y humedad fijadas, otros dos para sus correspondientes errores permisibles, una variable VISA con el puerto COM y otro para los errores que ocurran en el canal. Se miden los parámetros climáticos en ese instante y se devuelven como *output* además de un booleano que informa si están dentro del rango aceptable. En el transcurso interno de este VI se ha implementado un sistema para que se muestre el caso más desfavorable de *output* de VISA *resource* y *error*.

Una vez explicados los Virtual Instruments auxiliares, se va a explicar el código principal del cuarto Flat Sequence. Debido a la imposibilidad de mostrar el código en una misma ilustración, se ira mostrando y describiendo la programación paso a paso en el mismo orden en el que se ejecuta la aplicación.

1. Primer While Loop

Durante todo el flat se ejecuta un *While Loop* con la misma duración que este. El bucle establece el parámetro climático prioritario, mediante *case structures*, en la cámara climática y además establece el valor inicial del otro parámetro como el siguiente valor a fijar.

En todo momento, si la variable booleana “Parámetro prioritario” es *true*, indica que la temperatura se ha elegido como parámetro climático prioritario. En caso contrario, “Parámetro prioritario” igual *false*, se prioriza la humedad.



Una vez fijados los valores y realizada su correspondiente medición del sensor textil, al final del primer *while loop* se fija el nuevo valor del parámetro prioritario. La ilustración nº38 muestra un filtro diseñado para asegurar que el valor fijado no exceda su valor máximo.

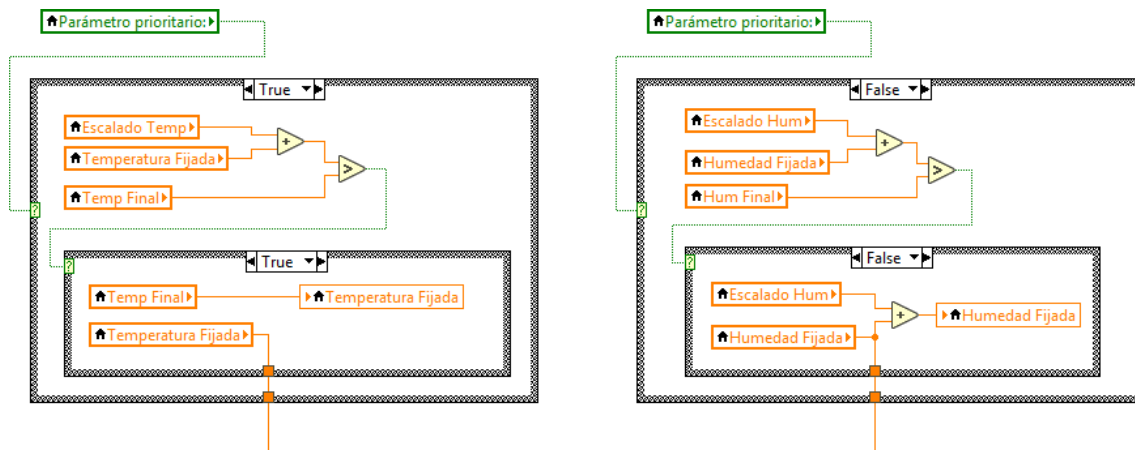


Ilustración 38: Case structures para realizar el escalado del parámetro prioritario

Después de ejecutar todo el código que forma parte de este primer *while loop*, se comprueba si el actual valor es igual al final, de ser así se finaliza el bucle, en caso contrario se incrementa su correspondiente valor y se vuelve a ejecutar el bucle desde su inicio.

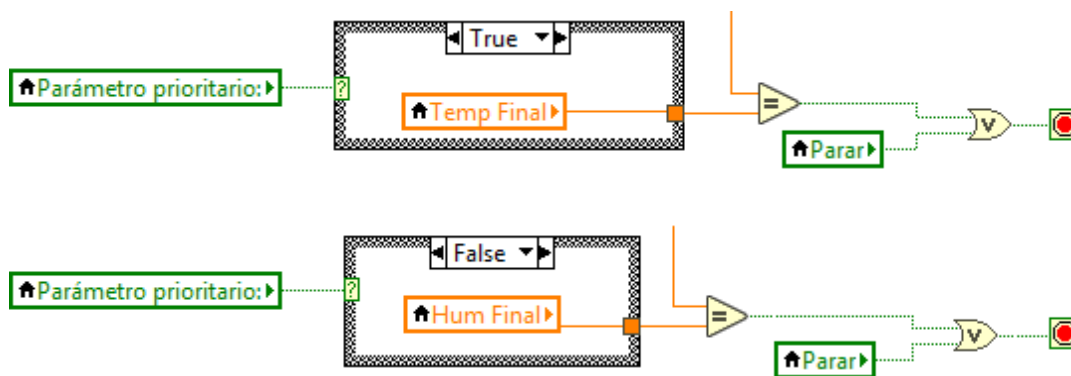


Ilustración 39: Case Structure para finalizar el bucle de valores del parámetro prioritario

2. Segundo While Loop

Este bucle se sitúa dentro del primero y su finalidad es enviar el valor del parámetro no prioritario al recinto climático. Además, inicia un *timer* y pone a cero el contador temporal de régimen permanente de la pestaña 'Medición' del HMI. Dicho *timer* servirá más adelante para iniciar las mediciones con el medidor LCR.

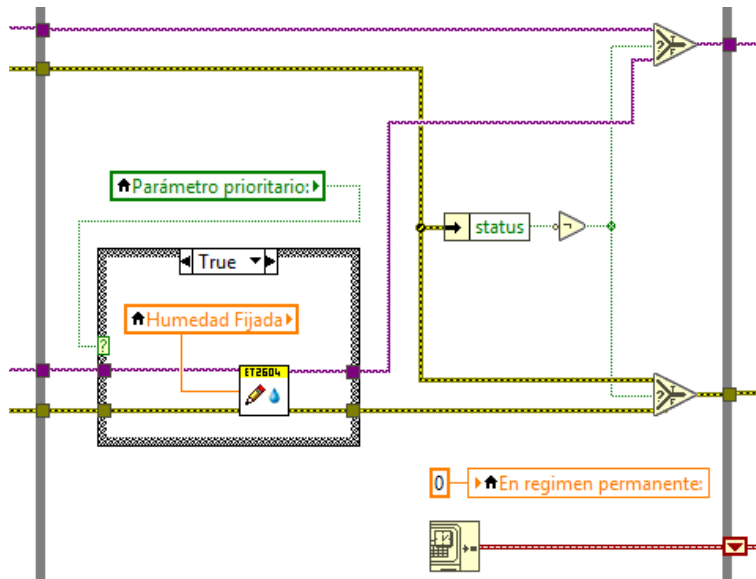


Ilustración 40: Case structure que fija el parámetro no prioritario - True

El *case structure* es el mismo que el de la ilustración nº 36, pero con los VI de su interior alternados. De esta forma, se define que con el mismo valor de la variable ‘Parámetro prioritario’, se establecen las dos características climáticas.

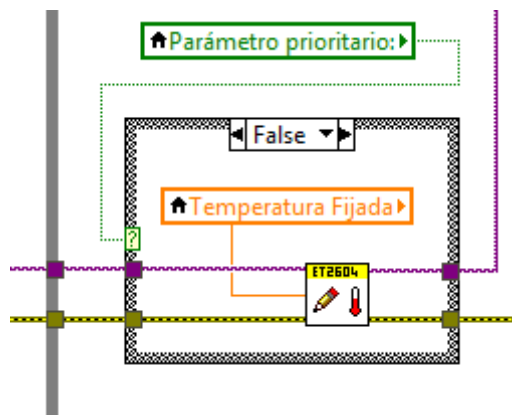


Ilustración 41: Case structure que fija el parámetro no prioritario – False

La forma para aumentar el valor a este parámetro, es exactamente igual al de la ilustración nº 38. Mientras que su sistemática para finalizar el bucle es muy semejante en al del primer bucle, pero en esta ocasión, se vuelven a alternar el interior de los *case structures* frente al valor de ‘Parámetro prioritario’.

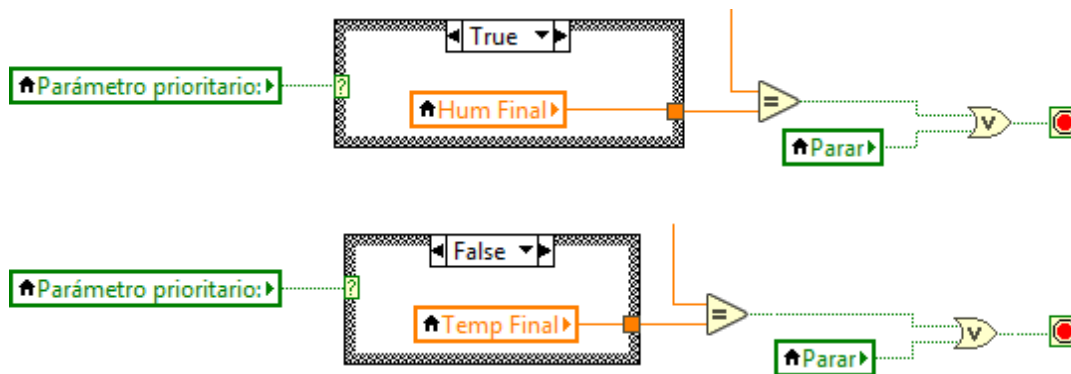


Ilustración 42: Case Structure para finalizar el bucle de valores del parámetro no prioritario

3. Tercer While Loop

Una vez establecido los nuevos valores de temperatura y humedad en la cámara CCK-25/48, se accede al tercer bucle del código principal. Su programación está basada en el *Virtual Instrument* auxiliar explicado en el apartado 2.3.4.4, el cual retorna un booleano indicando si los valores de temperatura y humedad medidos en ese momento están dentro del rango aceptado por el usuario. En función del booleano se accederá a una programación u otra del *case structure* de más adelante.

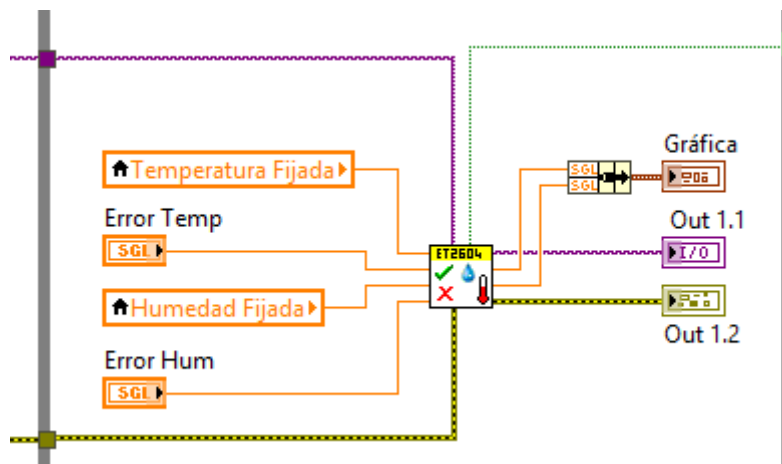


Ilustración 43: Tercer While de la Cuarta secuencia del Flat Sequence

En la ilustración anterior, se muestra la parte de la programación donde se envía los datos medidos a la gráfica de la interfaz 'Medición'. Y al igual que en el tercer *flat sequence*, los *outputs* del VI auxiliar se guardan en la variable 'Out 1' para evitar grandes conexiones en el código principal.

Tercer While Loop – Primer Case Structure: False

En este momento la interfaz gráfica está situada en la pestaña ‘Mediciones’, todas las características climáticas ya han sido enviadas a la CCK-25/48. El hecho de entrar en esta modalidad del *case structure* es debido a que los valores medidos, están fuera de lo aceptable según lo definido por el usuario.

Con esta situación se accede al código de la siguiente ilustración nº 44. Con los dos *case structures* situados a la izquierda, se habilita el cambio de pestañas entre ‘Parámetros’ y ‘Medición’, de esta forma se puede modificar cualquier parámetro de control mientras se ejecuta la aplicación diseñada.

También se resetea el *timer* iniciado en el segundo *while loop* y el contador de la pestaña de medición. Esto cobra sentido en situaciones donde los valores medidos salen del rango aceptable, estando ya dentro anteriormente y no llegan a alcanzar el tiempo de régimen permanente necesario.

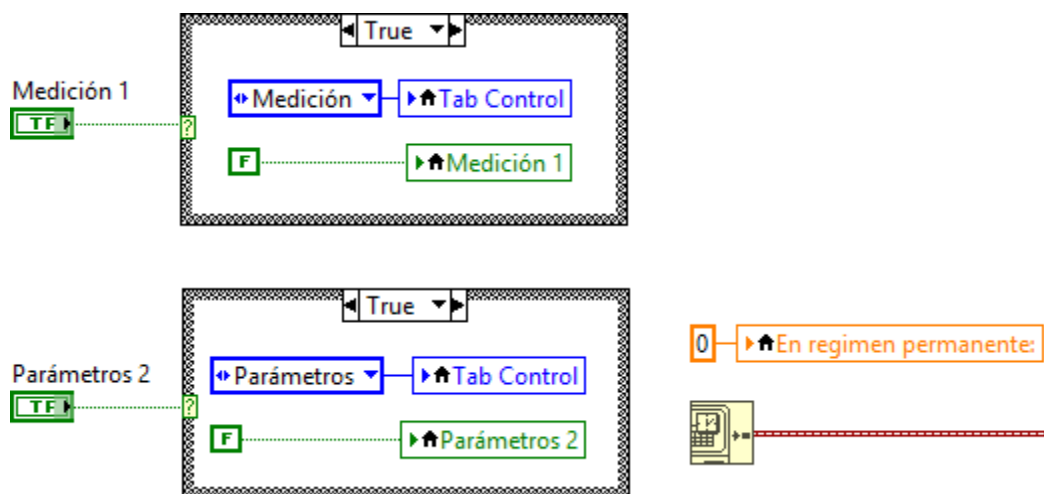
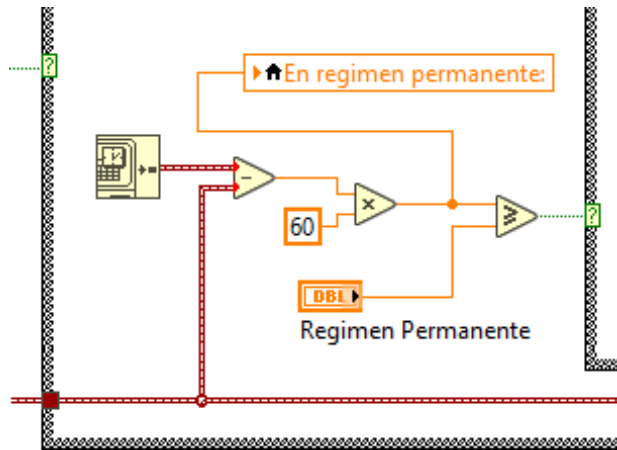


Ilustración 44: Case Structure para cambiar de pestaña gráfica

Tercer While Loop – Primer Case Structure: True – Segundo Case Structure: False

Cuando se obtienen los parámetros climáticos en la cámara, el primer *case structure* se activa con el valor *True* y se ejecuta el siguiente código el cual obtiene el tiempo que lleva en régimen permanente mediante la diferencia del *timer* del segundo *while loop* y este. Este valor se compara con el valor de régimen permanente que exige el usuario, de ser mayor o igual el segundo *case structure* se activará en *True*, si no, en *False*.



La ejecución del código llega al segundo *case structure* en modalidad *False* cuando se han alcanzado los valores deseados, pero aún no se ha llegado al tiempo de régimen permanente. El código de esta modalidad *false* es exactamente la misma que la ilustración n°44X, pero sin manipulación de ningún *timer*, es decir solamente permite interactuar entre las dos últimas pestañas gráficas del HMI.

Ante esta situación, ya se han alcanzado los valores fijados de temperatura y humedad en el interior de la cámara climática y además se han mantenido dentro del rango aceptable el tiempo que le exige el usuario. Como ya ha transcurrido el tiempo de régimen permanente, el sensor textil ya adquirida las propiedades propias del clima al que se encuentra. Ahora se puede proceder a iniciar las mediciones con el Hameg 8118.

Ilustración 46: Se fija la variable de frecuencia

En la programación de la ilustración anterior se recupera la variable ‘Out 2’, guardado en el tercer *flat sequence*, que contiene el puerto COM del medidor LCR y el clúster con los fallos ocurridos en su comunicación.

Bajo esto, se fija la frecuencia inicial de medición como la fijada, esta parte del código se ejecuta cada vez que se varía un parámetro climático. Más adelante se verá que la variable ‘Frecuencia Fijada’ se va incrementando progresivamente, pero la inicial se mantiene constante.

Por último, se utiliza un *For Loop* con el que se reinicia la matriz ‘Última medición’ de la pestaña ‘Medición’ de la interfaz gráfica. Se ha diseñado de forma que los datos están almacenados en esta matriz hasta que se proceden a tomar otras medidas de impedancia con otros valores climáticos.

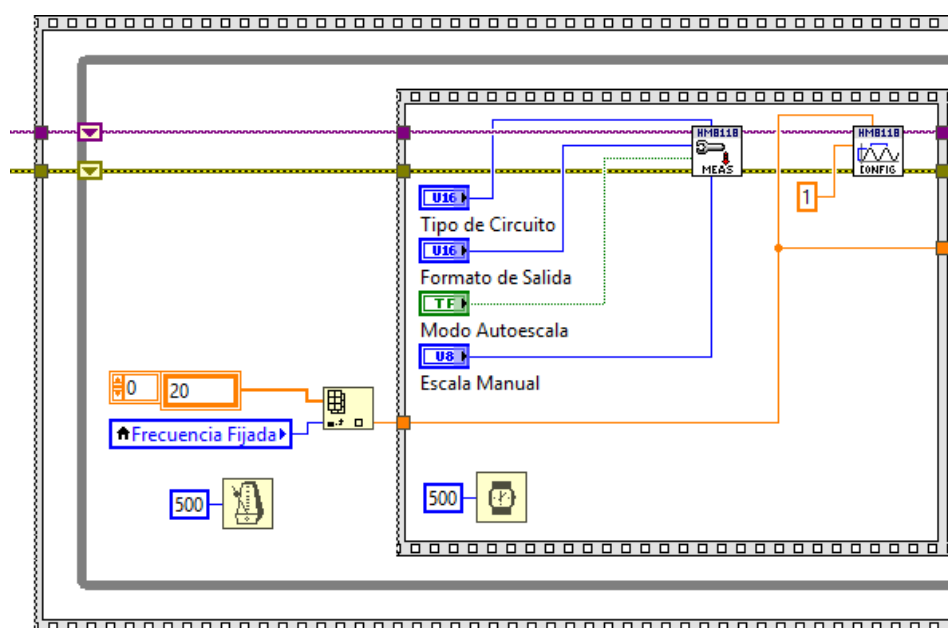


Ilustración 47: Configuración del Hameg 8118 y su señal

Explicado esto, se prosigue con la configuración del medidor LCR, ver ilustración nº47, donde se ubican dos VIs del propio fabricante, Hameg Instruments. El primer *Virtual Instruments* configura el instrumento y su formato de salida, estos parámetros se encuentra en la pestaña gráfica ‘Comunicación’. El segundo bloque prediseñado simplemente configura la señal sinusoidal, voltaje y frecuencia, con la que realiza las mediciones de los sensores.

Es importante mencionar que el Hameg no puede configurar la señal a cualquier frecuencia que se desee, solamente se puede escoger 69 valores distintos. Es por este motivo que en el *input* del segundo VI es una matriz con todas las posibles frecuencias a las que tomar las mediciones.

Toda esta estructura se encuentra en el interior de un corto *while loop* que tiene como finalidad el incremento de la variable de frecuencia fijada.

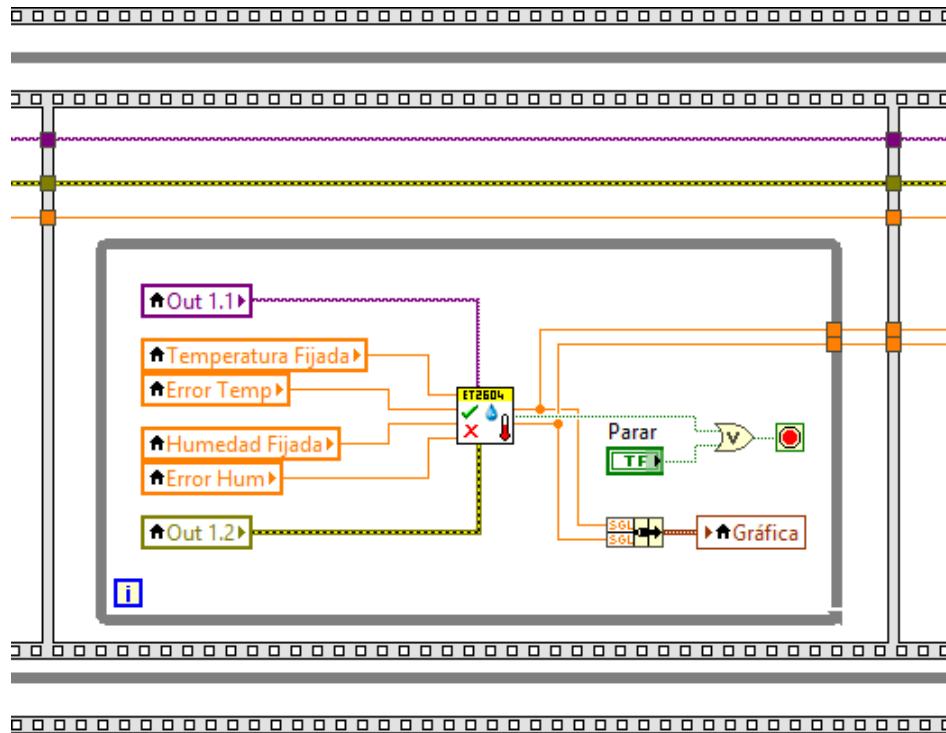


Ilustración 48: Verificación de medidas dentro de rango

Al comparar la imagen anterior con la ilustración nº43 se ve que son idénticas y que, por tanto, tienen la misma finalidad, asegurar que en la cámara climática se encuentra en los valores de temperatura y humedad correctos.

En el anterior caso, se utiliza esta estructura de programación para iniciar el contador de régimen permanente y acabar tomando las mediciones, pero en este caso se utiliza para asegurar que los parámetros climáticos de la cámara no salen fuera de los rangos aceptables mientras se están tomando dichas mediciones. En esta ocasión se han introducido dentro de un *while loop*, que garantiza unas mediciones textiles con el clima deseado.

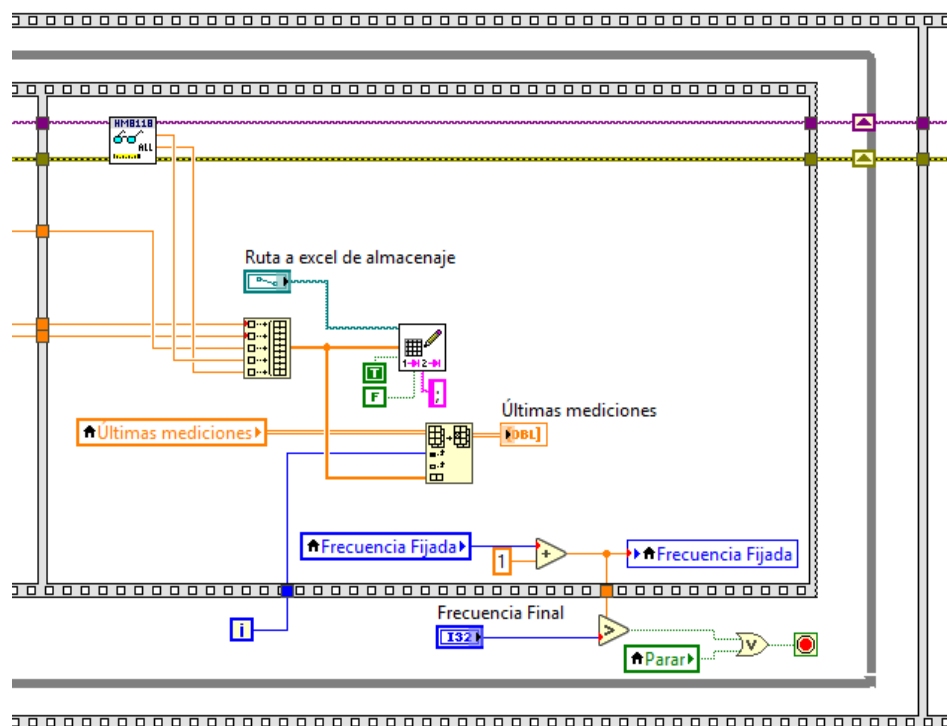


Ilustración 49: Almacena las mediciones en el excel CSV

Por último, en este paso el software LabVIEW obtiene la impedancia eléctrica del sensor gracias al *Virtual Instrument* del medidor LCR.

En este punto, se han obtenido todas las mediciones necesarias: temperatura, humedad, frecuencia y los dos parámetros medidos. A continuación, se crea una matriz con estas 5 diferentes mediciones y se envían a la matriz de la pestaña ‘Medición’ además de escribirlos en un excel, con formato CSV, en la ubicación que se ha determinado en la pestaña “Parámetros”.

Cuando finaliza este proceso, se suma una unidad a la frecuencia fijada, pasando a seleccionarse la siguiente frecuencia y reiniciar el ultimo *while loop*. Al finalizar el bucle, se establecerán los siguientes parámetros climáticos a fijar en la cámara mediante la programación de la ilustración nº49.

2.4.3.5. Quinta secuencia del *Flat Sequence*

Para finalizar la programación de la aplicación diseñada, se ejecuta la última etapa de comunicación descrita en el apartado 2.3.2, cerrar el canal de comunicación. Se ha añadido el *pushbutton* ‘parar’ que garantiza este cierre, de no hacerlo así y cerrar la aplicación forzosamente, podrían saturarse el puerto COM, provocando que no funcione el intercambio de datos en la siguiente medición. De saturar el puerto COM, basta con reiniciar el ordenador para resetearlo y poder volver a tomar mediciones.

Los últimos *Virtual Instruments* cumplen con esta última etapa de comunicaciones, tanto el de la cámara climática, como el del medidor LCR. Además se observa que hay un *case structure* que esta enlazado con el pulsador en la parte inferior izquierda de la pestaña ‘Medición’, véase ilustración nº50 el cual de estar activado produce que se abra un archivo excel, con formato CSV, que contiene todos los datos de la gráfica de la cámara climática que se han introducido durante la aplicación.

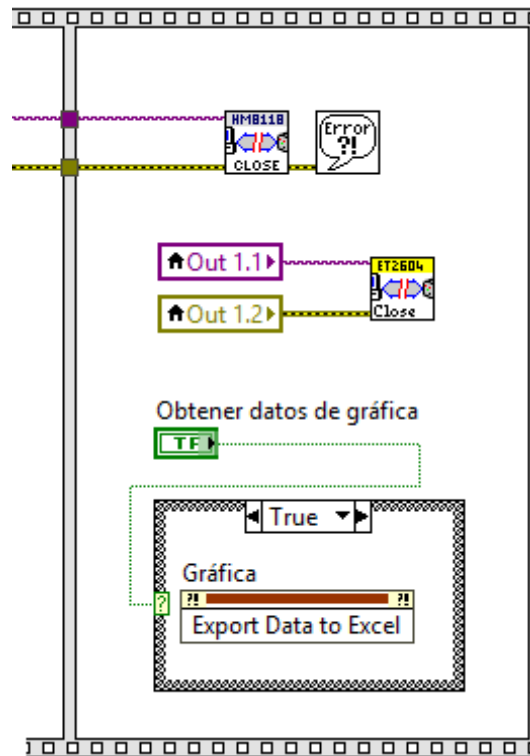


Ilustración 50: Quinta secuencia del Flat Sequence

3. Resumen de los resultados

Para constatar el correcto funcionamiento del aplicativo diseñado mediante LabVIEW, se ha simulado otro experimento. Se ha depositado documentación de carácter audiovisual en la plataforma GitHub. La configuración de todas sus variables son las siguientes [8]:

Pestaña Configuración

- Cámara climática
 - Velocidad de transmisión: 9600 baudios
 - Paridad: No
 - Bits de parada: 0
 - Parámetro prioritario: Temperatura
- Medidor LCR
 - Velocidad de transmisión: 9600 baudios
 - Control de flujo de datos: No
 - Paridad: No
 - Bits de datos: 7
 - Bits de parada: 1

Pestaña Parámetros

- Cámara climática
 - Bucle en temperatura: Desactivado
 - Inicio de temperatura: 20 °C
 - Error de temperatura: 1°C
 - Bucle en humedad: Activado
 - Inicio de humedad: 30 %RH
 - Error de humedad: 1°C
 - Escalado de humedad: 5 %RH
 - Final de humedad: 80 RH
- Medidor LCR
 - Tipo de Circuito: Automático
 - Formato de Salida: Z+Thetha
 - Modo Autoescala: Activado
 - Frecuencia Inicial: 150 Hz
 - Frecuencia Final: 30 kHz
- Régimen permanente: 5 minutos

Cuando las mediciones de las impedancias de los sensores se realizaban manualmente, eran necesarios aproximadamente 40 minutos. En las gráficas de este experimento, mostrado en la ilustración nº51, se aprecia que se ha reducido algo más de 15 minutos para poder obtener las impedancias eléctricas.

Si se mira la gráfica de esta misma ilustración, se observa que los valores de tempera y humedad fijados se han mantenido los últimos cinco minutos, y por lo tanto, el medidor LCR ha iniciado las mediciones que se muestran en la parte derecha de la ilustración.

Por los motivos que se explican en el apartado 3.3., el experimento se ha iniciado desde los valores 25 °C y 40 %RH.

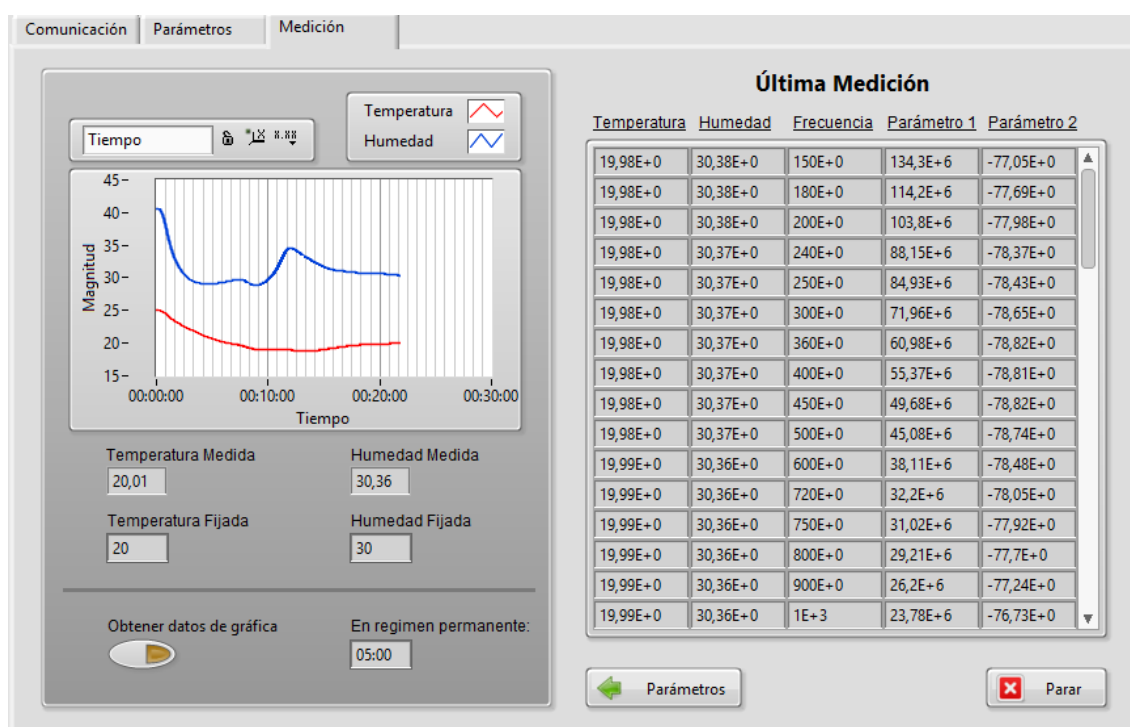


Ilustración 51: Ejemplo de resultados

Por último, se comprueba el excel donde se ha marcado que se guarden estas impedancias eléctricas medidas. Como se observa, la matriz de valores de la ilustración nº51 y nº52. Confirmando así el correcto funcionamiento de toda la programación implementada.

	A	B	C	D	E	F
1	Temperatura	Humedad	Frecuencia	Parámetro 1	Parámetro 2	
2	19,976	30,382	150	134269300	-77,048	
3	19,976	30,378	180	114209300	-77,691	
4	19,978	30,375	200	103829400	-77,982	
5	19,98	30,372	240	88149420	-78,372	
6	19,98	30,372	250	84927740	-78,428	
7	19,982	30,369	300	71962050	-78,654	
8	19,983	30,368	360	60978610	-78,823	
9	19,983	30,366	400	55367360	-78,812	
10	19,985	30,366	450	49676980	-78,821	
11	19,985	30,365	500	45078930	-78,741	
12	19,987	30,362	600	38105000	-78,482	
13	19,986	30,362	720	32196430	-78,052	
14	19,988	30,362	750	31019290	-77,922	
15	19,99	30,363	800	29214930	-77,703	
16	19,993	30,364	900	26200750	-77,244	
17	19,995	30,365	1000	23784530	-76,732	
18	19,995	30,365	1200	20112440	-75,674	
19	19,996	30,365	1500	16416350	-73,972	
20	19,996	30,367	1800	13939090	-72,217	
21	19,997	30,367	2000	12697370	-71,048	
22	19,998	30,367	2400	10842830	-68,696	
23	19,999	30,367	2500	10474230	-68,122	

Ilustración 52: Excel CSV de resumen de resultados

3.1. Presupuesto y estudio de viabilidad económica

Para elaborar el presupuesto del proyecto, se van a diferenciar entre varios conceptos:

1. Coste de personal: Los trabajos de final de master necesitan de 300 horas mínimas para que se realicen con éxito. Se considera un salario de 20 €/h para un ingeniero industrial, que implicaría un coste de personal de 6000 €.
2. Coste de amortización: Se ha estado utilizando diversos dispositivos para la realización del proyecto, a los que solamente se estimarán los gastos de amortiguación del tiempo que se han usado. El tiempo que se ha permanecido en el laboratorio usando sus instalaciones ha variado debido a muchos factores, por lo que se considera que el tiempo total realizando pruebas del proyecto es de 20 días laborables. No obstante, el ordenador se ha utilizado las 300 horas de duración del TFM.

Dispositivo	Precio	Vida útil	Horas	Coste
Cámara Climática	10.995 €	35 años	160 h	5,74 €
Medidor LCR	1.950 €	10 años	160 h	3,56 €
Cable USB Tipo A – RS232	10,90 €	5 años	160 h	0,04 €
Cable USB Tipo A – USB Tipo B	7,50 €	5 años	160 h	0,03 €
Ordenador	800 €	5 años	300 h	5,48 €
Total				6,58 €

Tabla 8: Costes de amortización

3. Consumo: El uso de la corriente eléctrica por estos dispositivos tiene asociado unos gastos de consumo de luz, siendo su coste energético es de 0,14 €/kWh.

Dispositivo	Potencia	Horas	Consumo	Coste
Cámara Climática	2900 W	120 h	348 kWh	48,72 €
Medidor LCR	20 W	120 h	2,4 kWh	0,34 €
Ordenador	65 W	300 h	19,5 kWh	2,73 €
Total				51,79 €

Tabla 9: Costes de consumo energético

4. Coste de software: Debido a los convenido de la universidad con las empresas *National Instruments* y Microsoft, la compra de sus softwares no ha representado un coste para el proyecto. El *iTools Engineering Studio*, de Eurotherm, es completamente gratuito.

Con todos los costes anteriormente descritos, el presupuesto total del trabajo de final de master asciende a los **6058,37 €**.

3.2. Valoración de las implicaciones ambientales

Todos los dispositivos electrónicos usados en el desarrollo en este proyecto requieren de corriente eléctrica como fuente primaria para su funcionamiento. El ordenador y el medidor LCR tiene un bajo consumo, mientras que la cámara climática al tener una potencia de 2,9 kW representa casi todo el consumo de la instalación.

Durante las pruebas de la aplicación diseñada, se observó que se reducía hasta 2 horas el tiempo necesario para tomar las mediciones en comparación con las mediciones de forma manual llevadas a cabo meses atrás. Ambos métodos de toma de mediciones se han comparado con los mismos valores de temperatura y humedad. Esta reducción de tiempo, sumada a que actualmente no es necesario apagar la cámara climática en las largas mediciones, hacen que se reduzca significativamente el consumo de energía de la instalación.

Otro concepto donde se aprecia una mejora ambiental es el ahorro de agua. La cámara climática tiene un gran depósito de agua a calentar, de forma que al evaporarse inyecta vapor de agua para incrementar la humedad del recinto climático.

Por último, en el interior de la cámara climática circula de forma estanca el refrigerante R-404a. Este refrigerante suele encontrarse en fase gas, no está considerado contaminante y no aumenta significativamente el efecto invernadero del cambio climático. Por lo que no representa un impacto ambiental en caso de romperse el conducto por donde circula. [9]

3.3. Valoración de las implicaciones de seguridad

Como se ha tenido que trabajar con la cámara climática del laboratorio hay que seguir unas pautas de seguridad, como ya se ha dicho en el anterior apartado, el refrigerante R-404a que circula por la instalación climática, aun siendo prácticamente inocuo para el medio ambiente, tarda mucho en degradarse, por lo que no está permitido introducir ningún objeto punzante en su depósito. Por la funcionalidad de este instrumento, tampoco está permitido cualquier tipo de sustancia volátil o que tenga peligro de explosión. Está prohibido introducir otra sustancia en el depósito de agua que no sea esta misma.

Pero la mayoría de las horas empleadas para desarrollar este tipo de proyectos, transcurren en las mismas condiciones que las de un oficinista, sentado en una silla, ya sea para implementar la programación del aplicativo o para monitorizar su correcto funcionamiento. Por este motivo es muy importante que se sigan las indicaciones de seguridad en el lugar de trabajo.

Durante las horas en las que se permanezca sentado se han cumplir las siguientes condiciones [10]:

- La espalda ha de permanecer recta en todo momento.
- Situar la cadera en la parte honda de la silla.
- Regular la altura de la silla para tener las piernas a la misma altura que la cadera.
- Tocar el suelo con toda la planta de los pies.
- Muñecas a la misma altura que el teclado, con los hombros relajados.
- Situar el monitor a una distancia mínima de 45 cm de los ojos.
- El lado superior del monitor debe estar a la misma altura de los ojos

3.3. Conclusiones

Se aprecia una reducción de todo el proceso automatizado de hasta dos horas, esto solamente realizando las mediciones de un rango de humedades con un valor constante de temperatura, por cada rango de humedad con otro valor distinto de temperatura representaría un ahorro de dos horas más. Es importante mencionar que las mediciones tomadas de forma manual contaban solamente con cuatro frecuencias y actualmente se miden las sesenta y nueve frecuencias disponibles del medidor LCR. Es decir, se ha logrado una reducción del 25% de tiempo, se han multiplicado el número de mediciones de las impedancias por 17 y son facilitadas en formato digital y, además ya no hay necesidad de dedicar el personal del RFEMC a monitorizar y controlar todo el proceso.

Durante las pruebas realizadas se ha encontrado una circunstancia donde la realización de estas mediciones puede verse afecta. En determinados días del verano, donde la temperatura ambiental y la humedad han sido muy altas, el vapor de agua en su interior se condensa en los cilindros en la parte posterior del depósito. El agua en forma líquida produce inestabilidades en la regulación de la humedad, siendo así prácticamente imposible que este parámetro llegue a estabilizarse.

Se recomienda encarecidamente y de forma preventiva, iniciar el instrumento climático en valores cercanos a los ambientales. Esta prevención facilita que se establezcan los parámetros climáticos fijados y además elimina la posibilidad de condensación del vapor de agua. Los valores iniciales previos al uso de aplicativo diseñado, son 25 °C de temperatura y 40 %RH de humedad. La reducción de tiempo, nombrada en el primer párrafo de este apartado, ya cuenta con establecer los valores recomendados previos a todo el proceso.

3.4. Planificación y recomendaciones de futuros trabajos

Una propuesta de mejora de la aplicación en futuros próximos sería añadir una funcionalidad de pruebas dinámica. Mediciones donde se pueda definir unos ciclos de temperatura y humedad, sin necesidad de hacer un bucle de valores y que permita definir distintos tiempos en los que se mantenga cada parte de estos ciclos. Otra funcionalidad a añadir sería la de pruebas de estrés, medir como le afecta a la impedancia del sensor un aumento y un abajada muy significativas en la temperatura y/o la humedad. Con esta última funcionalidad se podría estimar la vida útil del sensor textil diseñado.

Contra más se quiera automatizar y agilizar los procesos que se llevan a cabo por la aplicación, habrá que familiarizarse con el funcionamiento interno del regulador Eurotherm 2604. Esta afirmación se basa en que dicho regulador ya es capaz de hacer la mitad del tratamiento de datos que realiza este aplicativo diseñado, pero debido a su elevada complejidad exige disponer de personal especializado en comunicaciones electrónicos y sus dispositivos.

Con este planteamiento, se introduce la necesidad de crear un driver de control de LabVIEW para el regulador industrial que permita modificar y controlar cualquier parámetro. Para conseguir se han de seguir los siguientes pasos:

1. Conocer todas las funcionalidades de las que dispone el regulador Eurotherm 2604, como varios PIDs, *timers*, alarmas, operadores digitales y analógicos. Toda esta información se puede conseguir en el manual de usuario del fabricante, se puede encontrar en la bibliografía de este proyecto.
2. Averiguar las direcciones de los registros que afectan a todas estas funcionalidades del punto 1. La numeración de cada una de las direcciones se puede encontrar en el anexo D del mismo manual de usuario.
3. Crear todos los VIs necesarios para tener control total mediante la programación en LabVIEW, los Virtual Instruments estarán bien definidos y explicados, con todos los *inputs* necesarios y con el número máximo posible de *outputs*.

3.5. Relación de referencias bibliográficas

- [1] Graff, John. (2009) La Evolución de LabVIEW: Décadas de Desarrollo. Newsletter Instrumentation. Consultado en línea (10 de septiembre de 2018), disponible en: ftp://ftp.ni.com/pub/gdc/tut/abril-junio_2009.pdf
- [2] Documento de empresa (2017) Cámara climática para ensayos de temperatura y humedad, Serie CCK/ CM. DycoMetal.
- [3] Documento de empresa. (2016) 2600 User Manual: 2604 Process Controller. Eurotherm. Consultado en línea (13 de mayo de 2018), disponible en: https://www.eurotherm.com/index.php?route=product/download/get&download_id=199
- [4] Meraw, Rick et al. (2012) What is Kelvin Test?. Gardien Services. Consultado en línea (23 de julio de 2018), disponible en: http://www.circuitinsight.com/pdf/what_is_kelvin_test_ipc.pdf
- [5] Documento de empresa. (2015) LCR Bridge Hameg 8118. HAMEG Instruments GmbH. Consultado en línea (4 de abril de 2018), disponible en: <https://cdn.testequity.com/documents/pdf/HM8118-ds.pdf>
- [6] Chance, Elliott (2007) National Instruments LabVIEW: A Programming Environment for Laboratory Automation and Measurement. Journal of the Association for Laboratory Automation. Consultado en línea (19 de junio de 2018), disponible en: <http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1016/j.jala.2006.07.012>
- [7] Varios autores. (2014) Drivers de Hameg HM8118 *Instrument Driver*. *National Instruments Controllers*. Consultado en línea (2 de marzo de 2018), disponible en: http://sine.ni.com/apps/utf8/niid_web_display.download_page?p_id_guid=80634808372B577CE04400144F1EF859
- [8] Bataller, Óscar. (2018) DycoMetal CCK-25. GitHub. Consultado en línea (14 de septiembre de 2018), disponible en: <https://github.com/OscarBataller/DycoMetal-CCK-25.git>
- [9] Documento de empresa. (2013) Ficha de datos de seguridad del refrigerante R-404a. Gas-servei. Consultado en línea (4 de septiembre de 2018), disponible en: <https://www.gas-servei.com/images/Ficha-seguridad-R404A.pdf>
- [10] Varios autores. (2015) How to sit at a computer. Ergonomics. Consultado en línea (7 de septiembre de 2018), disponible en: <https://www.ergonomics.com.au/how-to-sit-at-a-computer/>